

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
Кудря С. О.
« ____ » _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

на тему: «Вітроелектрична установка для підвищення параметрів якості електричної енергії в локальній мережі»

Виконав:
студент VI курсу, групи ЕД-91мп
Галасун Іван Романович _____

Науковий керівник:
д-р. техн.наук., проф.,
Головко Володимир Михайлович _____

Рецензент:
доцент каф. АЕ
КПІ ім. Ігоря Сікорського,

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра відновлюваних джерел енергії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Кудря С. О.

«___» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Галасуну Івану Романовичу

1. Тема дисертації «Вітроелектрична установка для підвищення параметрів якості електричної енергії в локальній мережі», науковий керівник дисертації Головка Володимир Михайлович, проф., д-р .техн. наук., затверджені наказом по університету від «___» _____ 2020 р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: електромагнітні процеси системи електрозабезпечення споживачів від вітроелектричної установки в лінії 0,4 кВ.
4. Вихідні дані: план фрагменту мережі, рівні напруг у вузлах мережі.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Провести аналіз літератури по обраній темі. 2) Змодельовати мережу напругою 0,4 кВ. 3) Обрати точку приєднання ВЕУ та дослідити рівні напруг після приєднання. 4) Розрахувати ВЕУ 5) Розрахувати опору та АКБ для ВЕУ 6) Провести економічне обґрунтування установки 7) Описати охорону праці під час експлуатації ВЕУ
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1) Загальний вигляд ВЕУ. 2) Крутка лопаті ротора 3) Принципова схема приєднання до мережі

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1) Галасун І. Р. Використання вітроелектричних установок для підвищення параметрів якості електричної енергії у централізованій мережі електропостачання // Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики». – 2019. – с. 562-563. 2) Галасун І. Р. Вітроелектрична установка для підвищення параметрів якості електричної енергії в локальній мережі // Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики». – 2020. (Прийнято до публікації) 3) Головка В. М., Коваленко М. А., Коваленко І. Я., Галасун І. Р. Математичне моделювання автономної вітроустановки з синхронним генератором магнітоелектричного типу // Науково-прикладний журнал «Відновлювана енергетика» Національної академії наук України. – 2020. (Прийнято до публікації).

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літератури по обраній темі	9.11.2020-12.11.2020	Вик.
2	Моделювання мережі 0,4 кВ	13.11.2020-20.11.2020	Вик.
3	Обрання точки приєднання та дослідження впливу ВЕУ на рівень напруги в мережі.	21.11.2020-27.11.2020	Вик.
4	Розрахунок ВЕУ	30.11.2020-03.12.2020	Вик.
5	Розрахунок опори та АКБ для ВЕУ	03.12.2020-04.12.2020	Вик.
6	Економічне обґрунтування установки	04.12.2020-05.12.2020	Вик.
7	Охорона праці під час експлуатації та обслуговування ВЕУ	04.12.2020-05.12.2020	Вик.
8	Оформлення отриманих результатів	05.12.2020-06.12.2020	Вик.

Студент _____

Галасун І. Р.

Науковий керівник _____

Головка В. М.

Реферат

Магістерська дисертація включає в себе пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка представлена на 82 сторінках формату А4, в яку входять 18 таблиць, 16 рисунків та 13 джерел використаної літератури.

В магістерській дисертації розглянуто проблеми низькою якості електроенергії локальних розподільчих мереж напругою 0,4 кВ. Проведено моделювання впливу на відхилення напруги приєднання додаткового джерела живлення.

Актуальність теми: однією з важливих проблем енергетичної системи на сьогоднішній день є забезпечення споживачів розподільних електричних мереж напругою 0,4 кВ якісною електроенергією. Важливими показниками якості є відхилення і несиметрія напруги, відхилення яких від нормативних показників веде до порушення роботи та зменшення терміну служби електроустаткування та обладнання.

Мета магістерської дисертації: визначення параметрів та розрахунок ВЕУ для забезпечення якісних показників електроенергії локальної мережі.

Об'єкт дослідження: електромагнітні процеси системи електрозабезпечення споживачів від вітроелектричної установки в лінії 0,4 кВ.

Предмет дослідження: параметри ВЕУ для забезпечення якісних показників в лінії 0,4 кВ.

Методи дослідження: математичне моделювання електромагнітних процесів ВЕУ та лінії 0,4 кВ за допомогою пакету програм Matlab.

Наукова новизна роботи полягає в подальшому розширенні методів забезпечення якісних показників електроенергії за використання вітроустановок.

Публікації за тематикою досліджень:

- 1) Галасун І. Р. Використання вітроелектричних установок для підвищення параметрів якості електричної енергії у централізованій мережі електропостачання // Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики». – 2019. – с. 562-563.
- 2) Галасун І. Р. Вітроелектрична установка для підвищення параметрів якості електричної енергії в локальній мережі. (Прийнято до публікації)

- 3) Головка В. М., Коваленко М. А., Коваленко І. Я., Галасун І. Р. Математичне моделювання автономної вітроустановки з синхронним генератором магнітоелектричного типу // Науково-прикладний журнал «Відновлювана енергетика» № 4. – 2020. (Прийнято до публікації).

Abstract

The master's dissertation includes an explanatory note and a decanter part. The explanatory note is presented on 82 A4 pages, which includes 18 tables, 16 figures and 13 sources of references.

In the master's dissertation the problems of low quality of electricity of local distribution networks with voltage of 0.4 kV are considered. The modeling of the influence on the deviation of the connection voltage of the additional power supply is carried out.

Relevance of the topic: one of the important problems of the energy system today is to provide consumers of distribution electricity networks with a voltage of 0.4 kV quality electricity. Important quality indicators are voltage deviations and asymmetries, deviations from the normative indicators lead to malfunctions and reduced service life of electrical equipment and facilities.

The purpose of the master's dissertation: determination of parameters and calculation of wind turbines to ensure quality indicators of electricity in the local network.

Object of research: electromagnetic processes of the power supply system of consumers from a wind power plant in the 0.4 kV line.

Subject of research: wind turbine parameters to ensure quality indicators in the 0.4 kV line.

Research methods: mathematical modeling of electromagnetic processes of wind turbines and 0.4 kV lines using the Matlab software package.

The scientific novelty of the work lies in the further expansion of methods for ensuring the quality of electricity using wind turbines.

Publications on research topics:

- 1) Halasun Ivan. The use of wind turbines to improve the quality of electricity in a centralized power supply network // International scientific and technical journal of young scientists, graduate students and students "Modern problems of electrical engineering and automation". - 2019. - p. 562-563.
- 2) Halasun Ivan. Wind power plant to improve the quality of electricity in the local network. (Accepted for publication)
- 3) Holovko V.M., Kovalenko M.A, Kovalenko I.Ya., Halasun I.R Mathematical modeling of an autonomous wind turbine with a synchronous generator of magnetoelectric type // Scientific-applied journal "Renewable Energy" of the National Academy of Sciences of Ukraine. - 2020. (Accepted for publication).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 СТАН РОЗВИТКУ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ.....	10
1.1 Потенціал відновлюваної енергетики та вітроенергетики України	10
1.2 Стан вітроенергетики України.....	13
Висновки до розділу 1	16
2 РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ 0,4 КВ. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ ВЕУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОПУСТИМОГО ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ.....	17
2.1 Розрахунок мережі живлення 0,4 кВ.....	17
2.1.1 Данні для розрахунку	18
2.1.2 Розрахунок опору ділянок мережі.....	19
2.1.3 Розрахунок поточкорозподілу в мережі та рівнів напруги.....	21
2.2 Розрахунок необхідної потужності ВЕУ для приєднання	30
Висновки до розділу 2	32
3 АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВЕУ.....	33
3.1 Визначення діаметру ротора	33
3.2 Визначення числа модулів	34
3.6 Мінімальна висота опори	58
3.7 Вітрове навантаження на опору.....	58
3.8 Лобовий тиск на ротор.....	59
3.9 Момент біля основи опори.....	60
3.10 Вибір акумуляторних батарей та розрахунок необхідної кількості	61
Висновки до розділу 3	61
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	62
4.1 Вплив показників якості електроенергії на роботу електроприймачів	62
4.2 Оцінка економічного збитку у освітлювальному комплексі через низьку якість електроенергії	63
4.3 Оцінка вартості установки для підвищення якості електроенергії.....	65
Висновок до розділу 4:	67

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	68
5.1 Використання силової установки на базі ВЕУ для підвищення параметрів якості електроенергії мережі.....	68
5.1.1 Опис ідеї проекту	68
5.1.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	69
5.1.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	70
Висновки до розділу 5	72
6 ОХОРОНА ПРАЦІ	73
6.1 Загальні положення.....	73
6.2 Загальні вимоги до безпеки обладнання.....	74
6.3 Загальні вимоги до процесів експлуатації та технічного обслуговування	74
6.4 Загальні вимоги до процесів експлуатації та технічного обслуговування	76
Висновки до розділу 6	78
Висновки	79

ВСТУП

Важко уявити сучасний світ без використання електричної енергії. Електроенергія застосовується у всіх галузях народного господарства. Як наслідок спостерігається інтенсивне зростання споживання та навантаження на розподільчі мережі. Однією з гострих проблем стає забезпечення споживачів якісною електроенергією.

Основними показниками якості електроенергії є відхилення і несиметрія напруги, відхилення цих показників призводить до порушення роботи та зменшення терміну служби електроустаткування.

Найширше застосовуються вартісні оцінки рівня якості електропостачання. В літературі і методичних рекомендаціях розглядаються різні підходи до розрахунку збитків. Нормативні документи встановлюють компенсацію втрат у вигляді знижок-надбавок до тарифу за зниження показників надійності електропостачання та якості електроенергії. Проте така компенсація втрат не є адекватною реальним втратам і не враховує різноманіття виробництв, продукції, що випускається, та інших чинників, які впливають на величину втрат.

Найбільшу складність представляє розрахунок збитку споживача, оскільки в цьому випадку необхідно враховувати технологічні особливості виробництва продукції. Збиток споживача складається з двох частин: електротехнічної і технологічної складової. Електротехнічна складова заснована на функціональному описі показників системи і піддається розрахунку. Показники технологічної складової встановлюються апроксимацією залежностей на основі емпіричних даних.

В даній магістерській дисертації стоїть з визначення оптимальної точки приєднання додаткового джерела у вигляді ВЕУ для компенсації втрат та моделювання впливу вітроустановки на рівень напруг у вузлах мережі.

1 СТАН РОЗВИТКУ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

1.1 Потенціал відновлюваної енергетики та вітроенергетики України

На початок XXI ст. Україна посідає одне з перших місць у світі за рівнем споживання енергії на одиницю ВВП; енергоємність ВВП України в 2,6 рази перевищує середньосвітові показники [1]. Енергетична промисловість є однією з базових в економіці України і ґрунтується на спалюванні вугілля, природного газу, нафти і нафтопродуктів, а також використанні атомної та гідроенергії. Кількість виробленої в країні електроенергії у 2018 р. становила 159,4 млрд кВт·год (на 17,2% менше ніж 2007 р., коли цей показник становив 196,3 млрд кВт·год). З них 53,1% виробили атомні електростанції (АЕС), 30,0% – теплові електростанції (ТЕС), 7,5% – гідроелектростанції (ГЕС), 1,8% – вітроелектростанції (ВЕС), сонячні електростанції (СЕС), електростанції з використанням біомаси та 7,7% – інші [2, 3].

Екологізація енергетичної та інших галузей, освоєння й використання відновлюваних і альтернативних джерел енергії («чиста енергетика») є пріоритетною серед цілей збалансованого розвитку, вона також сприяє зменшенню рівня залежності від критичного імпорту енергетичних ресурсів. Україна до процесу використання альтернативних видів енергії активно долучається і щороку нарощує темпи розвитку відновлюваної енергетики. У 2010 – 2018 роках використання відновлюваної енергії в Україні зростало удвічі швидшими темпами, ніж традиційна енергетика, що базується на викопних та термоядерних ресурсах. У 2018 р. зафіксовано динамічний розвиток української «зеленої» енергетики. За рік встановлено 848 МВт нових потужностей, що генерують електроенергію з ВДЕ. Загалом, на кінець 2018 р. в країні працювало 2274 МВт потужностей, які генерують «чисту» електроенергію, що у 1,6 рази більше, ніж на кінець 2017 р. [3].

За 12 місяців 2018 р. об'єкти відновлюваної енергетики, яким видано «зелений» тариф, виробили 2,88 млрд кВт·год електроенергії [3]. «Зелений» тариф – це спеціальний завищений тариф, згідно з яким відбувається придбання електроенергії

від об'єктів, які виробляють її з використанням ВДЕ. У більшості європейських держав «зелений» тариф був запроваджений ще на початку 90-х років, Верховна Рада України внесла відповідні зміни до Закону «Про електроенергетику» (575/97-ВР) лише 1 квітня 2009 року. Цими змінами було кілька останніх років було ухвалено численні позитивні рішення та угоди про приєднання, що стимулюють використання відновлюваних джерел енергії. Зокрема, 15 березня 2006 р. Кабінет Міністрів України затвердив «Енергетичну стратегію України на період до 2030 року», у якій виробництву відновлюваної енергії відводиться пріоритетна роль, а освоєння нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії розглядається як важливий фактор підвищення рівня енергетичної безпеки та зниження антропогенного впливу на довкілля. Наголошено, що масштабне використання потенціалу нетрадиційної енергетики має не тільки внутрішньодержавне, а й міжнародне значення. Згідно з цією стратегією, частка енергії з нетрадиційних та відновлюваних джерел в паливно-енергетичному балансі України у 2030р. має досягнути 8 – 12% загального споживання [3].

Україна однією з перших приєдналася до Паризької угоди в межах Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (UNFCCC) щодо регулювання заходів зі зменшення викидів діоксиду вуглецю з 2020 р. Це означає, що країна готова до нового етапу розвитку відновлюваної енергетики, зокрема до орієнтації національної економіки на модель функціонування з низьким рівнем викидів вуглекислого газу. 10 травня 2016 р. Президент України підписав Указ №200/2016 «Питання приєднання України до Статуту Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA)», яким доручив подати заяву щодо членства країни в IRENA [4]. Європейський Союз директивою 2009/28/ЕК від 23 квітня 2009 р. намітив підвищити до 2020 р. частку відновлюваних джерел у загальному обсязі виробництва енергії до 20%.

Україна у 2010 р. приєдналася до європейського Енергетичного співтовариства (ратифіковано Законом України №2787 від 15 грудня 2010 р.), таким чином держава виконує покладенні зобов'язання стосовно сприяння використанню електроенергії, виробленої за допомогою ВДЕ на внутрішньому ринку електроенергії.

Енергія, вироблена за рахунок ВДЕ у 2018 р., (гідроенергія, лише малі ГЕС; енергія вітру, Сонця; біомаса і біогаз) забезпечує 1,8% енергоспоживання України, 0,7% якої припадає на енергію вітру (ВЕС). Довгостроковими цілями до 2020 р. вітроенергетика має забезпечувати 3,0% загального виробництва електроенергії (із введеною в експлуатацію потужністю приблизно 2000 МВт), а до 2030 р. – 4,5–6,0% (3000–4000 МВт) [5].

Для розвитку вітроенергетики найбільш придатні території, де коливання швидкості вітру якомога менші, а середня його швидкість перевищує 3 м/с. Значна частина України має сприятливі умови для виробництва електроенергії сучасними вітровими електростанціями з високим ступенем ефективності, передусім південні та гірські регіони держави: це узбережжя Чорного та Азовського морів і високогір'я Карпат, Подільська височина, Донецька височина, а також Кримський півострів. У північних та північно-західних регіонах (Полісся), у долинах гірських річок і на Закарпатській низовині через низьку швидкість вітру вітроелектростанції не доцільно будувати, що обґрунтовано у низці праць та публікацій, зокрема науковці Українського гідрометеорологічного інституту та Інституту відновлюваної енергетики НАН України розробили районування території України за показниками вітрового потенціалу.

У незалежній Україні програма будівництва сучасних вітроелектростанцій розпочалася в 1997 р. Відповідно до Указу Президента №159 «Про будівництво вітроелектростанцій» від 2 березня 1996 р. було розроблено комплексну державну програму будівництва вітроелектростанцій та інтеграції виробленої ними електроенергії в енергомережу. Згідно з планами, до 2010 р. загальна потужність введених в експлуатацію вітротурбін мала досягти 1990 МВт, проте ця програма не була реалізована. Крім того, в Україні прийнято закон для стимулювання розвитку вітроенергетики. Отже, впродовж останніх років значна увага приділяється оцінці вітрового потенціалу території країни для ефективного впровадження ВЕУ. Ресурси вітрової енергії в Україні, разом з існуючою енергопостачальною інфраструктурою і потребою в енергії, створюють достатнє підґрунтя для її розвитку.

1.2 Стан вітроенергетики України

Згідно з даними UWEA (Ukrainian Wind Energy Association – Українська Вітроенергетична Асоціація) у 2019 р. загальна потужність вітроелектростанцій України становила 1170 МВт (з урахуванням АР Крим), у 2018 р. була 620,6 МВт.

Переважає більшість ВЕС сконцентровані на територіях з потенційно високою потужністю вітрової енергії. У 2019 р. з наявних генеруючих потужностей 793,6 МВт знаходилося на материковій частині України, з них 138,1 МВт – в зоні проведення ООС (Операції об'єднаних сил) у Донецькій та Луганській областях. На Кримському півострові потужність збудованих вітроелектростанцій з 2013 р. не змінилася і становить 87,8 МВт [4]. Розподіл потужностей показаний на рис. 1.

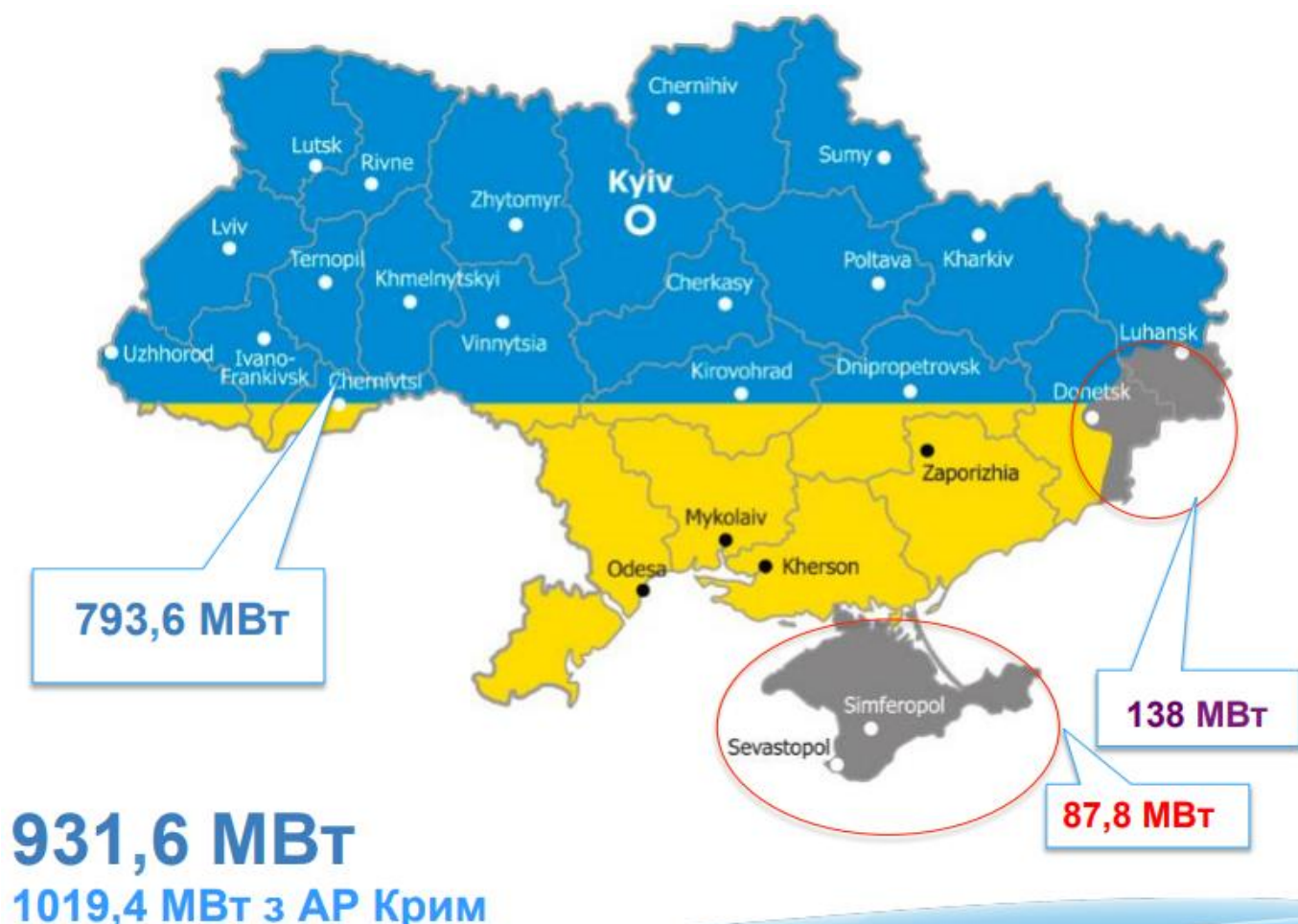


Рисунок 1.1 – Загальна потужність вітроелектростанцій в Україні станом на 01.10.2019

На кінець 2018 р. в Україні функціонувало 12 вітропарків, найбільшими з яких є Ботієвська, Новотроїцька, Новоазовська-2 та Причорноморська ВЕС (рис. 1.2) [4].

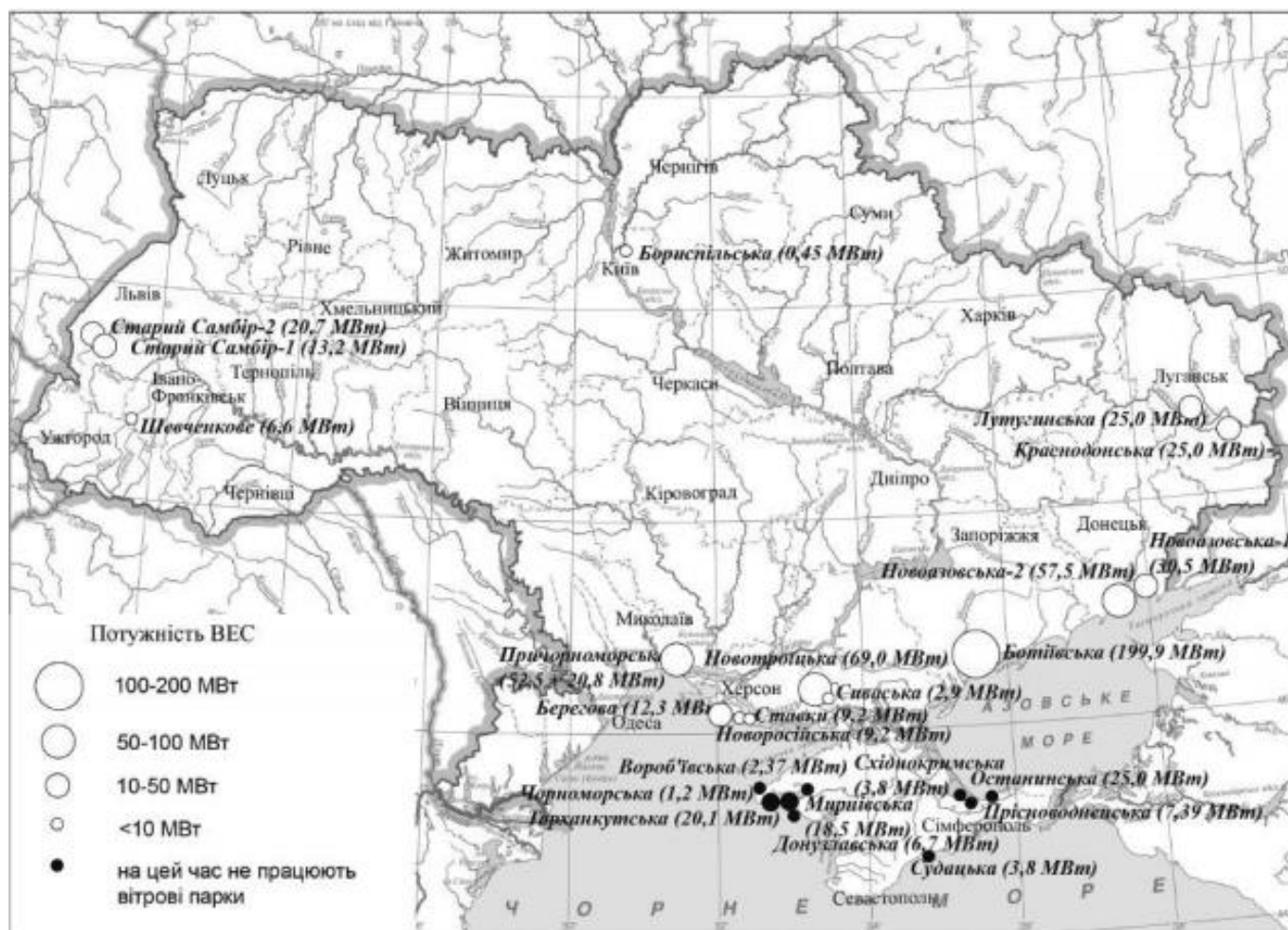


Рисунок 1.2 – Потужності найбільших вітропарків ВЕС в Україні

Протягом останніх років зростає зацікавленість інвесторів сектором української вітроенергетики. Серед держав-інвесторів насамперед можна виділити Німеччину, Польщу, Литву, Туреччину та Китай. Для сприяння подальшим інвестиціям за підтримки Данського енергетичного агентства було розроблено інтерактивну карту проектів відновлюваної енергетики та енергоефективності України – UAMAP 2.0 [4].

Стосовно моделей понад 450 діючих вітрових турбін варто відзначити, що переважно це сучасні зразки «мегаватного» класу: 50,0% з них це турбіни «Vestas» (V47, V112, V136), 35% – турбіни «Fuhrländer» (FWT FL 2500), 10% – турбіни WTU (2.0, 2.5, 3.2, 3.6) та Enercon (E70). Решта 5% – це вітрові турбіни меншої

потужності інших виробників (Turbowinds T600-48, USW56-100, Bonus, NORDEX N43/600), а в Криму були встановлені також турбіни типу «Unison 2,0» (по 2,0 МВт кожна).

Кількість електроенергії, виробленої ВЕС, за останні кілька років значно зросла. Якщо у 2009 році вона становила всього 41,4 млн кВт·год, то у 2018 році вже досягла 1179,84 млн кВт·год, генерацію електроенергії по рокам зображено на рис. 1.3 [5].

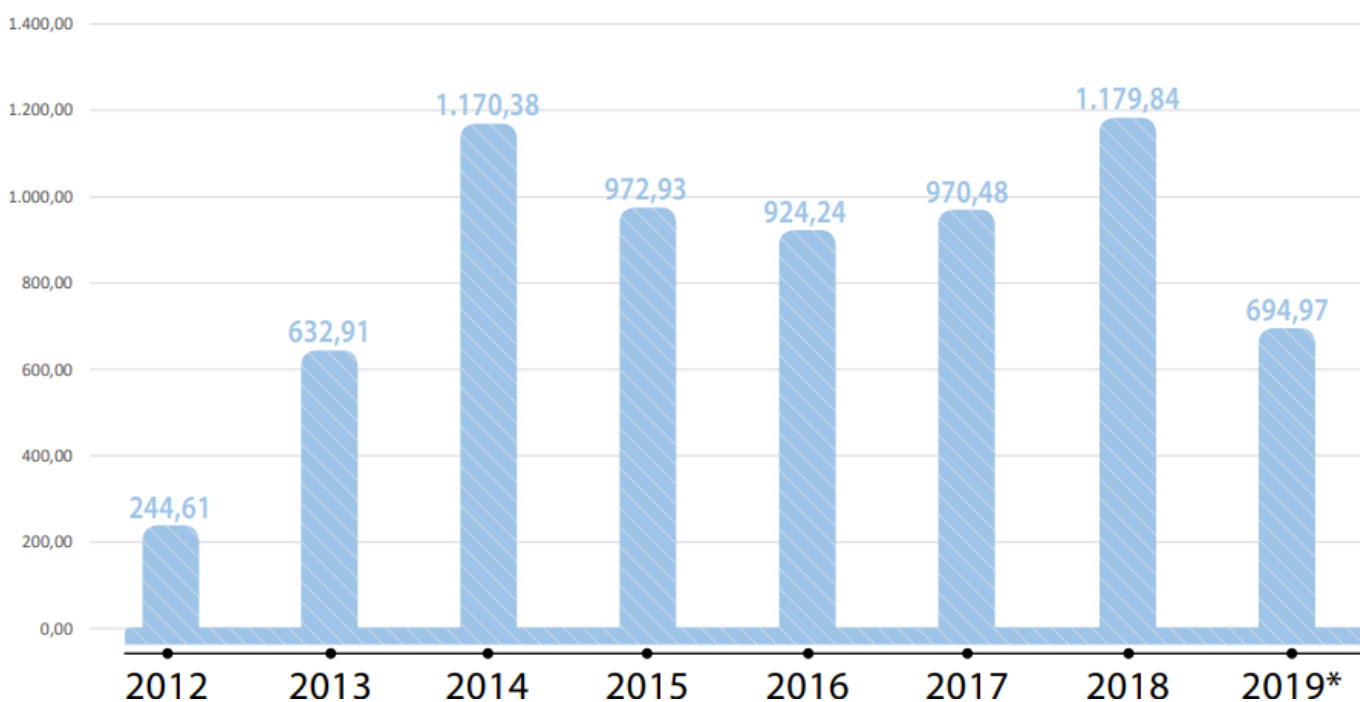


Рисунок 1.3 – Виробіток електроенергії ВЕС в Україні по рокам (*виробіток період з січня по травень 2019)

З квітня 2014 р. сонячні та вітрові електростанції, що знаходяться на Кримському півострові, через відомі причини не постачають електроенергію до Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України. Обсяг електроенергії, виробленої за рахунок енергії вітру у 2018 р., достатній для забезпечення понад 246 тисяч українських домогосподарств за середнього споживання 400 кВт·год електроенергії на місяць [5]. Вітроенергетика відіграє провідну роль в процесі декарбонізації економіки України.

Висновки до розділу 1

Був проведений загальний огляд сучасного стану і розвитку вітроенергетики України. В результаті огляду було виявлено значний приріст та стрімкий темп розвитку вітроенергетичного комплексу України. Загальна встановлена потужність вітроенергетичних станцій України станом на 2019р. складає 1170 МВт, що становить 18,3 % від загальної встановленої потужності “зеленої” енергетики. За прогнозами на кінець 2020р. очікується приріст потужності у розмірі 450 МВт.

2 РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ 0,4 КВ. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ ВЕУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОПУСТИМОГО ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ.

За останні роки відбулося значне збільшення встановленої потужності електрообладнання сільськогосподарських підприємств, а також побутове споживання. За чисельністю і складом електроустановок, вимоги до надійності електропостачання та якості електроенергії наблизилися до промислових споживачів. З іншого боку, великий обсяг дорогого енергетичного будівництва, тривалі строки будівництва висувають вимоги економії капітальних вкладень і відшукування простих і сучасних рішень по розвитку й експлуатації систем електропостачання споживачів.

Для проведення аналізу показників якості було обрано частину мережі 0,4 кВ, що розташована у с. Волошинівка, створено модель для подальшого розрахунку якісних параметрів мережі.

2.1 Розрахунок мережі живлення 0,4 кВ

Загальний вигляд фрагменту мережі зображений на рис. 2.1.

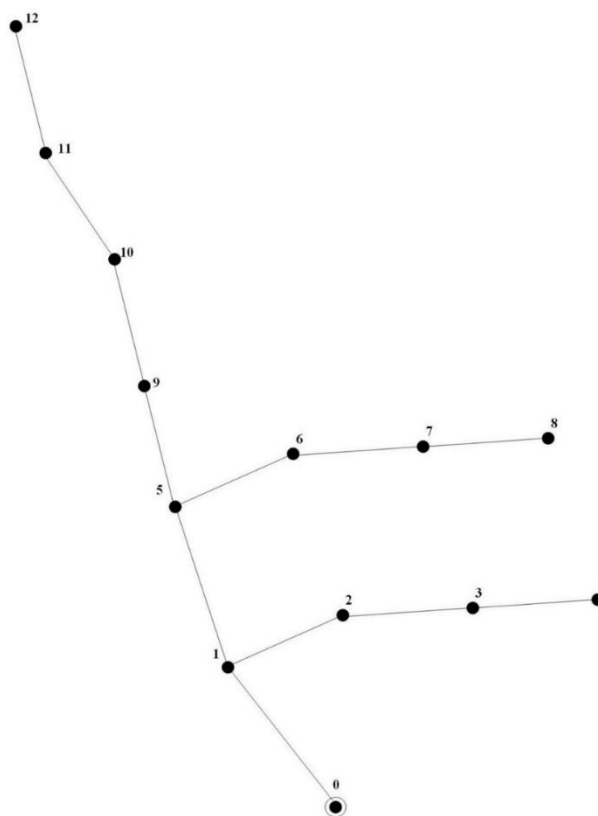


Рисунок. 2.1 Загальний вигляд фрагменту мережі 0,4 кВ.

2.1.1 Данні для розрахунку

Початкові дані для проведення розрахунку наведені далі, а саме в табл. 2.1 показані рівні напруг у вузлах мережі, а в табл. 2.2 наведені типи та довжини кабелів мережі.

Таблиця 2.1 – Рівень напруги у вузлах мережі

Вузол	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Напруга, В	218	215	211	209	214	210	208	205	205	203	198	196

Таблиця 2.2 – Кабельний журнал мережі 0,4 кВ

Ділянка	Тип кабелю	Довжина, м
0-1	СП 4x50	120
1-2	СП 2x16	60
2-3	СП 2x16	60
3-4	СП 2x16	60
1-5	СП 4x35	150
5-6	СП 2x16	60
6-7	СП 2x16	60
7-8	СП 2x16	60
5-9	СП 2x25	150
9-10	СП 2x16	60
10-11	СП 2x16	60
11-12	СП 2x16	60

2.1.2 Розрахунок опору ділянок мережі

Питомий опір проводі отриманий з сайту виробника.

Таблиця 2.3 – Питомі опори проводів СІП різного перерізу

Переріз, мм ²	16	25	35	50
Питомий опір, Ом/км	1,91	1,2	0,868	0,641

На основі питомих опорів, знайдемо опори ділянок мережі.

Активний опір ділянки 1-2:

$$r_{(1-2)} = \frac{r_{016}}{k} \cdot L = \frac{1,91}{4} \cdot 0,06 = 0,0287 \text{ (Ом)}, \quad (2.1)$$

де r_{016} – питомий опір жили 16мм²;

k – кількість жил у проводі;

L – довжина ділянки.

Розрахуємо геометричне місце проводів:

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} = \sqrt[3]{500 \cdot 500 \cdot 500} = 629,96 \text{ (мм)}, \quad (2.2)$$

де D – відстань між фазними проводами ЛЕП.

Індуктивний опір ділянки 1-2:

$$\begin{aligned} x_{0(1-2)} &= 0,145 \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot D_{cp}}{d}\right) + \frac{0,016}{k} = 0,145 \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot 629,96}{5}\right) + \frac{0,016}{2} = \\ &= 3,2 \left(\frac{\text{Ом}}{\text{км}}\right), \end{aligned} \quad (2.3)$$

де d – діаметр жили проводу

$$x_{(1-2)} = \frac{x_{0(1-2)}}{k} \cdot L = \frac{3,2}{2} \cdot 0,06 = 0,096 \text{ (Ом)}; \quad (2.4)$$

Оскільки, номінальна напруга ЛЕП дорівнює 0,4 кВ, то втратам на корону можна знехтувати, тобто $\Delta P_{ок} = 0$, а відповідно і активна провідність рівна $g_{1-2} = 0$.

Питома ємнісна реактивна провідність буде рівна:

$$b_{0(1-2)} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(\frac{2 \cdot D_{cp}}{d}\right)} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(\frac{2 \cdot 629,96}{5}\right)} = 3,33 \cdot 10^{-6} \left(\frac{См}{км}\right), \quad (2.5)$$

Ємнісна реактивна провідність відповідно:

$$b_{(1-2)} = k \cdot L \cdot b_{0(1-2)} = 2 \cdot 0,06 \cdot 3,33 \cdot 10^{-6} = 0,4 \cdot 10^{-6} \left(\frac{См}{км}\right) \quad (2.6)$$

Повний опір ділянки 1-2:

$$Z_{1-2} = r_{(1-2)} + ix_{(1-2)} = 0,029 + 0,096i \text{ (Ом)}; \quad (2.7)$$

Провідність ділянки 1-2:

$$Y_{1-2} = g_{(1-2)} + ib_{(1-2)} = 0 + 0,04i \text{ (Ом)}; \quad (2.8)$$

Аналогічно проведемо розрахунки для всіх ділянок мережі. Результати розрахунку представлені у табл. 2.4

Таблиця 2.4 – Розраховані значення опорів

Ділянка	Акт опір, Ом	Індуктивний опір, Ом	Ємнісна провідність, $\cdot 10^{-6}$, См	Повний опір, Ом	Повна провідність $\cdot 10^{-6}$, См
1	2	3	4	5	6
0-1	0,005	0,008	1,65	0,005+i0,008	i1,65
1-2	0,029	0,096	0,4	0,029+i0,096	i0,4
2-3	0,029	0,096	0,4	0,029+i0,096	i0,4
3-4	0,029	0,096	0,4	0,029+i0,096	i0,4
1-5	0,008	0,011	1,99	0,008+i0,011	i1,99
5-6	0,029	0,096	0,4	0,029+i0,096	i0,4

1	2	3	4	5	6
6-7	0,029	0,096	0,4	0,029+i0,096	i0,4
7-8	0,029	0,096	0,4	0,029+i0,096	i0,4
5-9	0,045	0,023	0,97	0,045+i0,023	i0,97
9-10	0,029	0,096	0,4	0,029+i0,096	i0,4
10-11	0,029	0,096	0,4	0,029+i0,096	i0,4
11-12	0,029	0,096	0,4	0,029+i0,096	i0,4

2.1.3 Розрахунок поточкорозподілу в мережі та рівнів напруги

Оскільки, номінальна потужність споживачів рівна 9 кВт, а $\cos \varphi = 0,9$, то потужність складе:

$$P = S_{\text{сп}} \cdot \cos \varphi = 9 \cdot 0,9 = 8,1 \text{ (кВт)}; \quad (2.9)$$

$$Q = S_{\text{сп}} \cdot \sin \varphi = 9 \cdot 0,44 = 3,92 \text{ (кВТ)}; \quad (2.10)$$

$$S_{\text{max}} = P - i \cdot Q = 8,1 - i3,92 \text{ (кВА)}; \quad (2.11)$$

Початкові значення напруг у вузлах:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = U_5 = U_6 = U_7 = U_8 = U_9 = U_{10} = U_{11} = U_{12} = U_n = 220 \text{ (В)}; \quad (2.12)$$

Розрахункове струмове навантаження у вузлах:

$$I_1 = \frac{S_1}{U_1} + Y_1 \cdot U_1 = \frac{8,1 - i3,92}{220} + i1,65 \cdot 10^{-6} \cdot 220 = 35,55 - i17,22 \text{ (А)}; \quad (2.13)$$

Аналогічно розрахуємо струмові навантаження для інших вузлів. Результати розрахунку показані в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Струмові навантаження вузлів

Вузол	Струмове навантаження, А
1	2
1	35,55- <i>i</i> 17,22
2	35,55- <i>i</i> 17,22
3	35,55- <i>i</i> 17,22
4	35,55- <i>i</i> 17,22
5	35,55- <i>i</i> 17,22
6	35,55- <i>i</i> 17,22
7	35,55- <i>i</i> 17,22
8	35,55- <i>i</i> 17,22
9	35,55- <i>i</i> 17,22
10	35,55- <i>i</i> 17,22
11	35,55- <i>i</i> 17,22
12	35,55- <i>i</i> 17,22

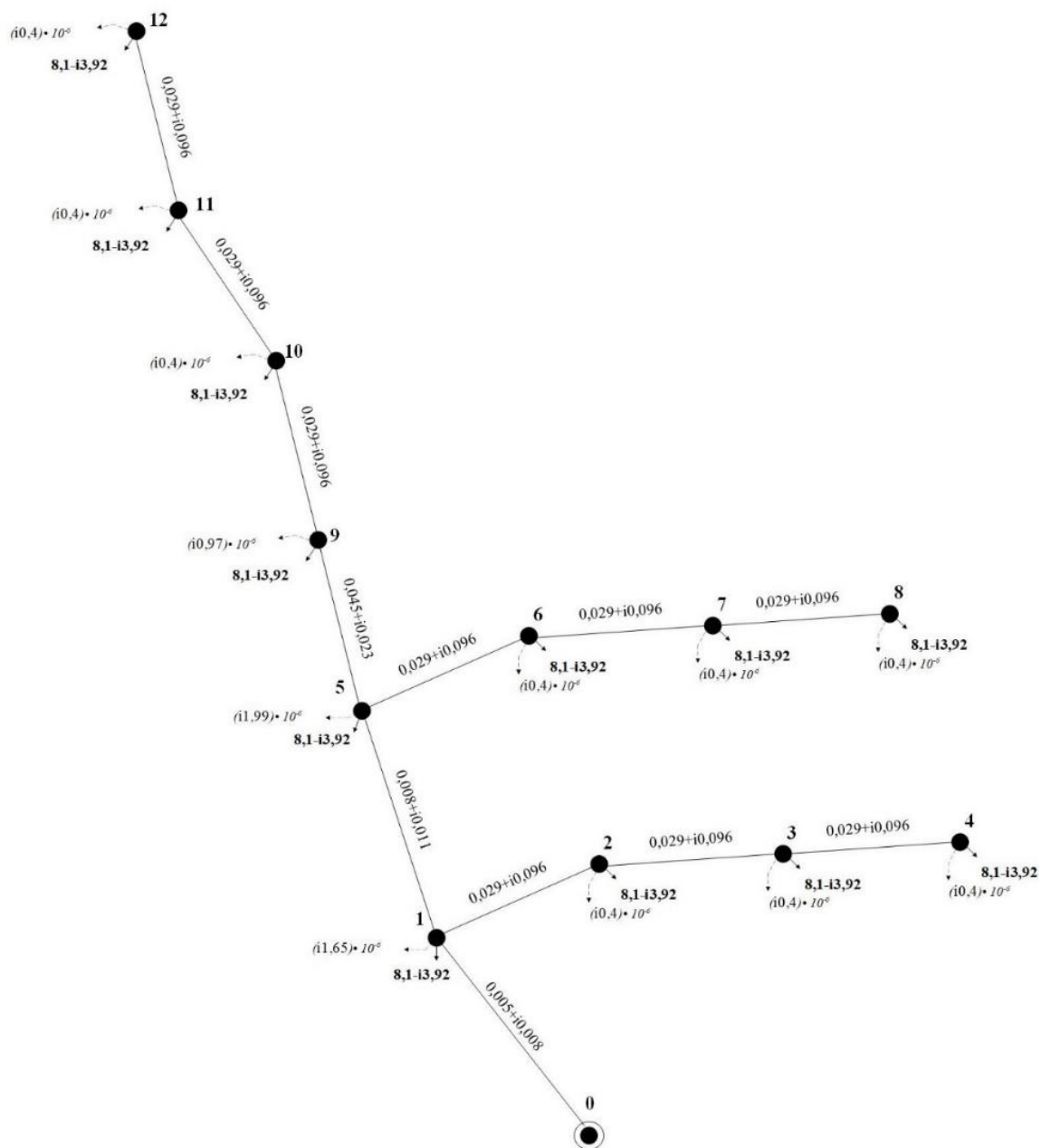


Рисунок 2.2 – Розраховані початкові параметри схеми

Розрахуємо струмове навантаження ділянок мережі:

$$I_{(0-1)} = \sum_{n=1}^{12} I_k = (35,55 - i17,22) \cdot 12 = 426,54 - i206,58 \text{ (A)}; \quad (2.14)$$

$$I_{(2-3)} = I_3 + I_4 = (35,55 - i17,22) \cdot 2 = 71,09 - i34,43 \text{ (A)}; \quad (2.15)$$

Аналогічно розрахуємо струмове навантаження для інших ділянок мережі.

Розраховані значення наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Струмові навантаження ділянок мережі

Ділянка	Струмове навантаження, А
0-1	426,54–i206,58
1-2	106,63–i51,65
2-3	71,09–i34,43
3-4	35,55–i17,22
1-5	284,36–i137,72
5-6	106,63–i51,65
6-7	71,09–i34,43
7-8	35,55–i17,22
5-9	142,18–i68,86
9-10	106,63–i51,65
10-11	71,09–i34,43
11-12	35,55–i17,22

Розрахуємо рівні напруг у вузлах мережі:

$$\begin{aligned} U_1 &= U_0 - I_{(0-1)} \cdot Z_{(0-1)} = 220 - (426,54 - i206,58) \cdot (0,005 + i0,008) \\ &= 216,22 - i2,58 \text{ (В)}; \end{aligned} \quad (2.16)$$

Аналогічно розрахуємо рівні напруг для інших вузлів мережі. Розраховані значення наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Рівні напруг у вузлах

Вузол	Напруга, В
1	216,22–i2,58
2	212,67–i2,11
3	210,3–i1,81
4	209,12–i1,66
5	212,41–i4,55
6	208,86–i4,09
7	206,49–i3,79
8	205,31–i3,64
9	204,43–i4,71
10	200,88–i4,24
11	198,52–i3,94
12	197,33–i3,79

Знайдемо сумарні втрати потужності в мережі:

$$\Delta S_1 = \dot{U}_0 \cdot I_{(0-1)} - \sum S_s = 220 \cdot (426,54 - i206,58) - (93,84 - i45,45) \cdot 10^3 = i0,386 \text{ (ВА)}; \quad (2.17)$$

Повторимо розрахунок струмового навантаження у вузлах, згідно нових рівнів напруг:

$$I_1 = \frac{S_1}{U_1} + Y_1 \cdot U_1 = \frac{8,1 - i3,92}{216,22 - i2,58} + i1,65 \cdot 10^{-6} \cdot (216,22 - i2,58) = 35,95 - i17,95 \text{ (A)}; \quad (2.18)$$

Аналогічно розрахуємо струмові навантаження для інших вузлів. Результати розрахунку показані в табл. 2.8

Таблиця 2.8 – Струмові навантаження вузлів (оновлені)

Вузол	Струмове навантаження, А
1	35,95–i17,95
2	36,59–i18,17
3	37,02–i18,33
4	37,25–i18,41
5	36,42–i18,61
6	37,07–i18,86
7	37,52–i19,03
8	37,75–i19,12
9	37,81–i19,4
10	38,51–i19,67
11	39–i19,85
12	39,25–i19,95

Повторно розрахуємо струмове навантаження ділянок мережі:

$$I_{(0-1)} = \sum_{n=1}^{12} I_k = (35,95 - i17,95) \cdot 12 = 450,14 - i227,33 \text{ (A)}; \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} I_{(2-3)} &= I_3 + I_4 = (37,02 - i18,33) + (37,25 - i18,41) = \\ &= 74,27 - i36,74 \text{ (A)}; \end{aligned} \quad (2.20)$$

Аналогічно повторно розрахуємо струмове навантаження для інших ділянок мережі. Розраховані значення наведені в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Струмові навантаження ділянок мережі (оновлені)

Ділянка	Струмове навантаження, А
0-1	450,14–i227,33
1-2	110,86–i54,91
2-3	74,27–i36,74
3-4	74,27–i36,74
1-5	303,32–i154,48
5-6	112,34–i57
6-7	75,27–i38,14
7-8	37,75–i19,12
5-9	154,56–i78,86
9-10	116,76–i59,47
10-11	78,24–i39,8
11-12	39,25–i19,95

Перерахуємо рівні напруг у пунктах мережі:

$$U_1 = U_0 - I_{(0-1)} \cdot Z_{(0-1)} = 220 - (450,14 - i227,33) \cdot (0,005 + i0,008) \quad (2.21)$$

$$= 215,93 - i2,68 \text{ (В)};$$

Аналогічно повторно розрахуємо рівні напруг для інших вузлів мережі. Розраховані значення наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.10 – Рівні напруг у вузлах (оновлені)

Вузол	Напруга, В
1	2
1	215,93–i2,68
2	213,23–i2,16
3	211,75–i1,82
4	209,51–i1,65

1	2
5	211,78–i4,72
6	208,02–i4,16
7	205,5–i3,79
8	204,23–i3,6
9	203,02–i4,71
10	199,11–i4,12
11	196,49–i3,73
12	195,17–i3,53

Знайдемо сумарні втрати потужності в мережі:

$$\Delta S_2 = \dot{U}_0 \cdot I_{(0-1)} - \sum S_s = 220 \cdot (450,14 - i227,33) - (93,84 - i45,45) \cdot 10^3 = 5190,79 - i4564,9 \text{ (ВА)}; \quad (2.17)$$

Перевіримо збіжність ітераційного процесу:

$$\varepsilon = \frac{|\Delta S_1 - \Delta S_2|}{\Delta S_2} \cdot 100\% \approx 100\%; \quad (2.17)$$

Розрахунок необхідно повторювати, доки критерій збіжності не буде відповідати умові $\varepsilon \leq 1\%$.

Фінальні розраховані значення зображені на рис. 2.3

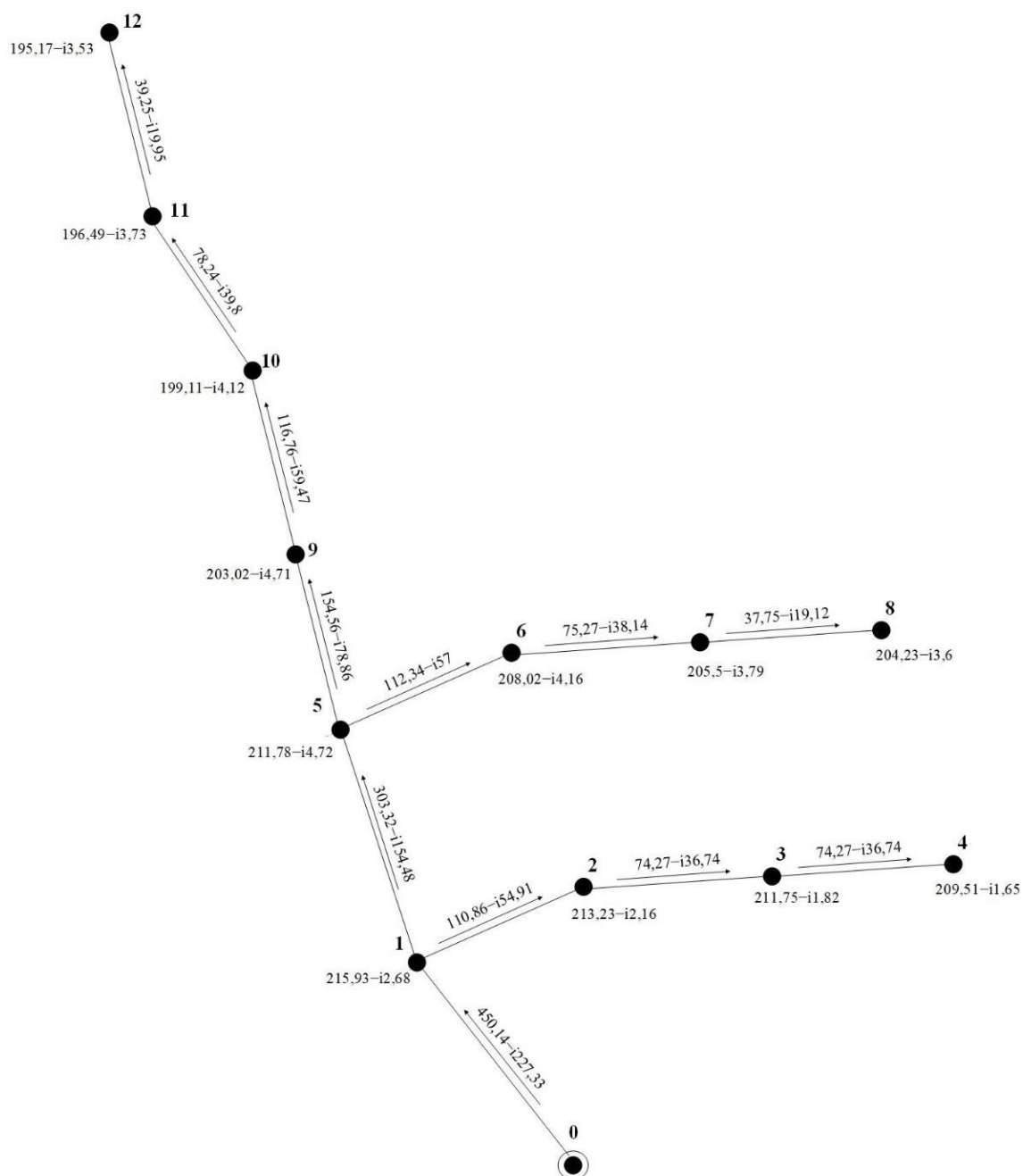


Рисунок 2.3 – Результати розрахунку мережі 0,4 кВ

2.2 Розрахунок необхідної потужності ВЕУ для приєднання

Розрахунок необхідної ВЕУ проводиться аналогічно розрахунку мережі в попередньому розділ, для мережі без додаткового джерела живлення, для приєднання ВЕУ, було обрано вузол 12, оскільки в даному вузлі рівень напруги є найнижчим.

Головною умовою для розрахунку потужності ВЕУ є забезпечення у всіх вузлах мережі напруги з відхилення менше 5% від номінального значення. Після проведення розрахунку, розрахована потужність ВЕУ складає 36 кВт. Результати рівнів напруг у вузлах зображені на рис.2.4.

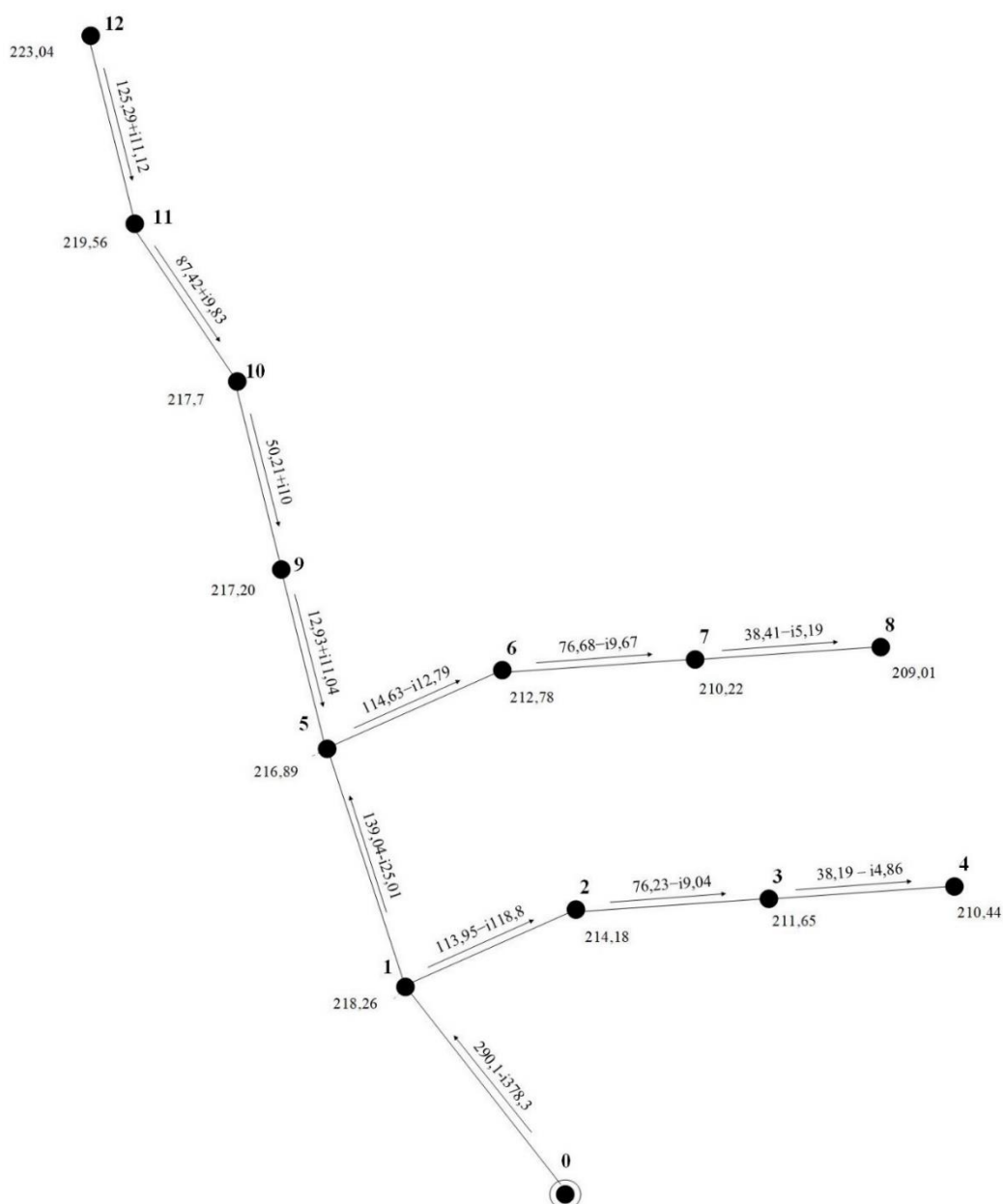


Рисунок 2.3 – Результати розрахунку мережі 0,4 кВ після приєднання ВЕУ у вузол 12.

Як видно з отриманих результатів, після приєднання до вузла 12 ВЕУ, потужністю 36 кВт, напруга у всіх вузлах зросла до встановлених меж відхилення в 5% від номінального. Як бачимо, найнижча напруга у вузлі 8 склала 209 В, що складає відхилення в 5% від номінального, проте у вузлі 12, до якого приєднано ВЕУ є перенапруга, що склала 1% від номінального значення. Зважаючи на це, було прийнято рішення розрахувати ситуацію з приєднання двох вітряків меншої потужності у вузли 12 та 9. Результати розрахунків показані на рис. 2.5.

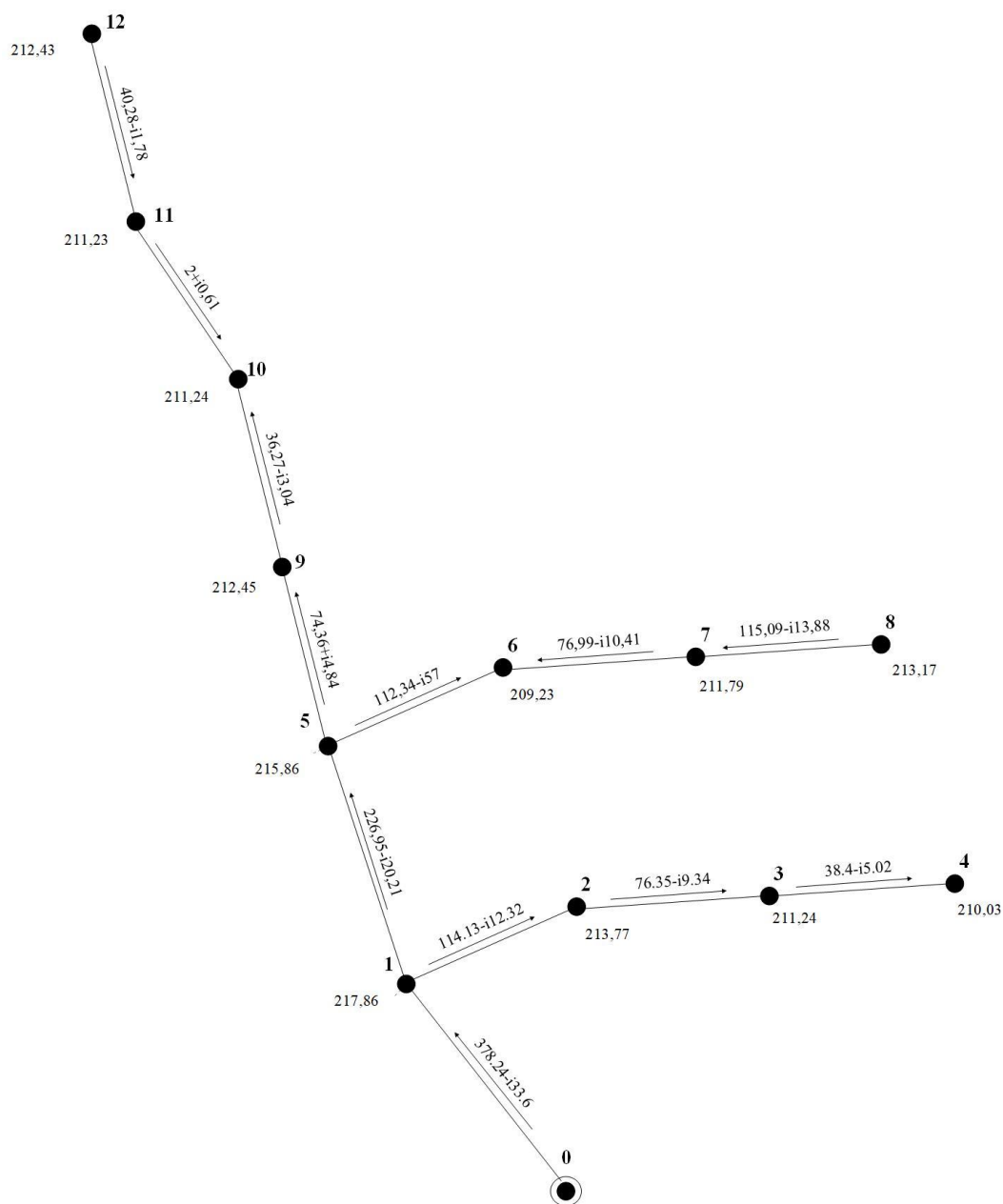


Рисунок 2.5 – Результати розрахунку мережі 0,4 кВ після приєднання ВЕУ у вузол 8 та 12.

В результаті приєднання двох ВЕУ у вузли 9 та 12, потужністю 13 та 16кВт відповідно було досягнуто аналогічного результату, що і в результаті приєднання однієї ВЕУ. Таким чином, було обрано перший варіант, оскільки він є більш економічно доцільний, оскільки будівництво та утримання однієї ВЕУ більш економічно вигідно.

Оскільки розрахована необхідна потужність ВЕУ склала 36 кВт, а дане значення було розраховане для пікового одночасного навантаження всіх споживачів, то проаналізувавши добовий графік навантаження та враховуючи, що в якості резервного джерела живлення прийнято використати акумуляторні батареї, було обрано номінальну потужність ВЕУ $N=7,5$ кВт.

Висновки до розділу 2

В даному розділі було розглянуто модель частини мережі напругою 0,4 кВ, що знаходиться у с.Волошинівка, Київської області. Розраховано напруги у вузлах та виявлені проблемні вузли з відхиленням напруги, що перевищує допустимі показники відхилення. Виконано розрахунок необхідної потужності ВЕУ для забезпечення підвищення рівнів напруги у вузлах.

3 АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВЕУ

Згідно розрахунку моделі мережі було розрахована необхідна потужність вітроустановки для встановлення у вузол 12. Необхідна номінальна потужність ВЕУ склала 7,5 кВт. Отже, на основі цієї потужності буде проведений розрахунок параметрів ВЕУ.

3.1 Визначення діаметру ротора

Для розрахунку діаметру вітроустановки необхідно враховувати попередньо визначену потужність, що необхідно забезпечити для споживача або розрахувати на основі оцінки потреб в потужності. Також діаметр залежить в кубічній залежності від номінальної швидкості установки

Розрахунок діаметру установки проводиться за виразом 3.1:

$$D = 45,6 \sqrt{\frac{N}{v_n^3 \xi}} \quad (3.1)$$

де $v_n = (1,15...2)v_{cp}$

де v_{cp} – середньорічна швидкість вітру;

ξ – коефіцієнт потужності, $\xi = 0,3...0,4$.

Середньорічна швидкість вітру на висоті флюгера, що була розрахована на основі середньомісячних швидкостей вітру, дані наведені в додатку 1, склала $v=4,2$ (м/с). Згідно залежності (3.2), що запропонована Д.Т. Лайхтманом, було перераховано значення швидкості вітру на висоті осі ротора:

$$v = v_1 \frac{\lg \frac{h}{h_0}}{\lg \frac{h_1}{h_0}} = 4,2 \frac{\lg \frac{2000}{5}}{\lg \frac{1100}{5}} = 4,7 (м / с) \quad (3.2)$$

де v – розрахункова швидкість на рині вітроколеса h ;

v_1 – швидкість вітру, що вимірюється біля Землі на висоті h_1 (см);

h_0 – висота, на якій швидкість вітру дорівнює нулю.

Оскільки, номінальна швидкість вітру $v_n = 2 \cdot v_{cp} = 2 \cdot 4,7 = 9,4$ (м/с) отже розрахуємо діаметр вітроустановки на основі даних:

$$D = 45,6 \sqrt{\frac{7,5}{(9,4)^3 \cdot 0,35}} = 7,4 \text{ (м)}, \text{ відповідно } R = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 7,5 = 3,7 \text{ (м)}$$

3.2 Визначення числа модулів

Число модулів – значення, що характеризує швидкохідність вітроустановки і представляє собою відношення колової швидкості кінця лопаті до номінальної швидкості ВЕУ. Розрахувати значення числа модулів можна за виразом 3.3:

$$Z = \frac{\omega R}{v_n} = \frac{\pi n R}{30 v_n} \quad (3.3)$$

де n – кількість обертів ротора ВЕУ за хвилину.

Число модулів можна розрахувати на основі формули або прийняти стандартним, що залежить від модифікації ВЕУ. Наприклад, для швидкохідних установок число модулів приймає значення в діапазоні 2,5...7.

Оскільки, ми тільки проектуємо ВЕУ і можливості визначити реальне значення обертів неможливо, а установка є швидкохідною, то приймаємо $Z=6$.

3.3 Визначення значення коефіцієнта потужності

Для розрахунку коефіцієнта гальмування ВЕУ розраховується значення для різних коефіцієнтів гальмування, що приймають значення в діапазоні 0,2-0,45 з кроком в 0,05 за формулою 3.4:

$$\xi = \xi_i \left(1 - \frac{r_0^2}{R^2} - \bar{T}_j - \bar{T}_p - \bar{T}_m \right), \quad (3.4)$$

де ξ_i – значення ідеального коефіцієнта потужності, який розраховано за 3.5:

$$\xi_i = 4e \frac{1-e}{1+e} \quad (3.5)$$

Значення коефіцієнта гальмування e приймається в діапазоні 0,2-0,45 з кроком в 0,05

Розраховане значення коефіцієнта потужності $e=0,2$:

$$\xi_i = 4 \cdot 0,2 \frac{1-0,2}{1+0,2} = 0,533,$$

$\frac{r_0}{R}$ – конструкційний параметр, що приймається 0,2 для ВЕУ з діаметром до 10м..

Кінцеві втрати можна знайти за наступним виразом 3.6:

$$\overline{T}_j \cong \frac{e}{1-e} \left[\frac{8\sqrt{1+\left(\frac{1-e}{z}\right)^2}}{iz(1+e)} - \frac{1}{\sqrt{1+\left[\frac{iz}{\pi(1+0,5e)}\right]^2}} \right] \quad (3.6)$$

де i – кількість лопатей (в розрахованому ВЕУ 3 лопаті).

$$\overline{T}_j \cong \frac{0,2}{1-0,2} \left[\frac{8\sqrt{1+\left(\frac{1-0,2}{6}\right)^2}}{3 \cdot 6(1+0,2)} - \frac{1}{\sqrt{1+\left[\frac{3 \cdot 6}{\pi(1+0,5 \cdot 0,2)}\right]^2}} \right] = 0,055$$

Витрати за профілем можна знайти за формулою 3.7:

$$\overline{T}_p \cong 2\mu' \left[\frac{1-e}{z} + \frac{z}{3(1-e)} \right] \quad (3.7)$$

де μ' – середнє значення із $\mu = \frac{C_x}{C_y}$ для вибраного профілю.

$$\overline{T_p} \cong 2 \cdot 0,058 \left[\frac{1-0,2}{6} + \frac{6}{3(1-0,2)} \right] = 0,3$$

Втрати, що викликанні крутінням струменю повітря за ротором 3.8:

$$\overline{T_m} = \frac{\xi_i \eta_1^2}{2z^2} \ln \frac{R}{r_0} \quad (3.8)$$

де - $\eta_1 = (0,88 \dots 0,92)$.

$$\overline{T_m} = \frac{0,53 \cdot (0,9)^2}{2 \cdot 6^2} \ln \frac{1}{0,2} = 0,01$$

$$\xi = 0,53(1 - (0,2)^2 - 0,05 - 0,3 - 0,01) = 0,32$$

Розрахуємо коефіцієнти потужності для різних коефіцієнтів гальмування аналогічно розрахунку, що наведено вище. Результати занесені для зручності в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти потужності ВЕУ розраховані для різних коефіцієнтів гальмування.

e	ξ_i	$(r_0/R)^2$	T_j	T_p	T_m	ξ
0,2	0,533	0,04	0,001	0,442	0,010	0,271
0,25	0,600		-0,002	0,468	0,011	0,290
0,3	0,646		-0,007	0,499	0,012	0,295
0,35	0,674		-0,013	0,534	0,012	0,287
0,4	0,686		-0,021	0,576	0,012	0,269
0,45	0,683		-0,031	0,625	0,012	0,241

Як видно з результатів максимальний коефіцієнта потужності досягається при $e=0,3$ і складає $\xi=0,295$.

3.4 Визначення кута встановлення (заклинення) за довжиною лопаті

Для визначення кута заклинення (встановлення) лопаті використаємо формулу 3.9:

$$\phi = \beta - \alpha = \text{arcctg}(z_u) - \alpha \quad (3.9)$$

де z_u - число модулів, що розраховується за формулою 3.10:

$$z_u = \frac{z}{2(1-e)} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\xi_i}{z^2}} \right] \quad (3.10)$$

де $z = \frac{Zr_0}{R};$

ξ_i - значення ідеального коефіцієнту потужності, для максимального значення $\xi_{\max};$

$\frac{r_0}{R}$ - значення перерізу для знаходження кутів встановлення. $\frac{r_0}{R} = 1,0; 0,8; 0,6; 0,4; 0,2;$

$$z = 7 \cdot 1 = 7$$

$$z_u = \frac{7}{2(1-0,3)} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{0,646}{7^2}} \right] = 10,03 \text{ згідно розрахунку для перерізу } 1,0$$

були розраховані значення для інших перерізів, отримані значення наведені у таблиці 3.1.

Для $\frac{r_0}{R} = 1,0$, коефіцієнт підйомної сили $C_y^{(1,0)}$ приймається згідно наступної

умови : $C_y^{(1,0)} = C_y \text{ при } \langle \mu \rangle; \mu = \frac{C_x}{C_y}; C_y = f(\alpha); C_x = f(\alpha);$

Для знаходження кількості лопатей використовують формулою 3.11. Також кількість лопатей може бути змінена на розсуд конструктора:

$$i = \frac{(\overline{ibC}_y) R}{C_y b} \text{ при } \frac{R}{b} = 5 \dots 15. \quad (3.11)$$

де
$$\overline{ibC}_y = \frac{8\pi \frac{r_0}{R} \frac{e}{(1+e)(1-e)^2}}{(z_u + \mu) \sqrt{1 + z_u^2}},$$

де $e = e_{\max}(\xi_{i\max}; \frac{r_0}{R} = 1, 0).$

Для швидкохідної установки було прийнято обрати трилопатеву схему установки $i=3$.

$$\overline{ibC}_y = \frac{8\pi \cdot 1 \cdot \frac{0,3}{(1+0,3)(1-0,3)^2}}{(10,03 + 0,047) \sqrt{1 + 10,03^2}} = 0,116$$

Ширина лопаті на початку лопаті визначається за формулою 3.12:

$$b_{(1,0)} = \frac{(\overline{ibC}_y)}{iC_y} R; \quad (3.12)$$

$$b_{(1,0)} = \frac{0,116}{3 \cdot 0,456} \cdot 3,7 = 0,32(\text{м});$$

Ширина лопаті на інших перерізах 3.13:

$$b_k = b_{(1,0)} + \frac{b_{(0,2)} - b_{(1,0)}}{n-1} (k-1), \quad (3.13)$$

де $b_{(0,2)} = (1,3 \dots 2)b_{(1,0)};$

n – число перерізів лопаті;

k – порядковий номер перерізу при R_i .

$$b_{(0,8)} = 0,42 + \frac{1,3 \cdot 0,32 - 0,32}{5-1} (2-1) = 0,34(\text{м}),$$

Для розрахованої ширини лопаті b_k розраховується $C_y^{(k)}$ для кожного значення перерізу лопаті за формулою 3.14:

$$C_y^{(k)} = \frac{(\overline{ib}C_y)}{ib_k} R; \quad (3.14)$$

$$C_y^{(0,2)} = \frac{0,144}{3 \cdot 0,09} \cdot 3,7 = 0,526;$$

З отриманих $C_y^{(k)}$ за залежністю $C_y = f(\alpha)$ (рис 3.1) визначимо α .

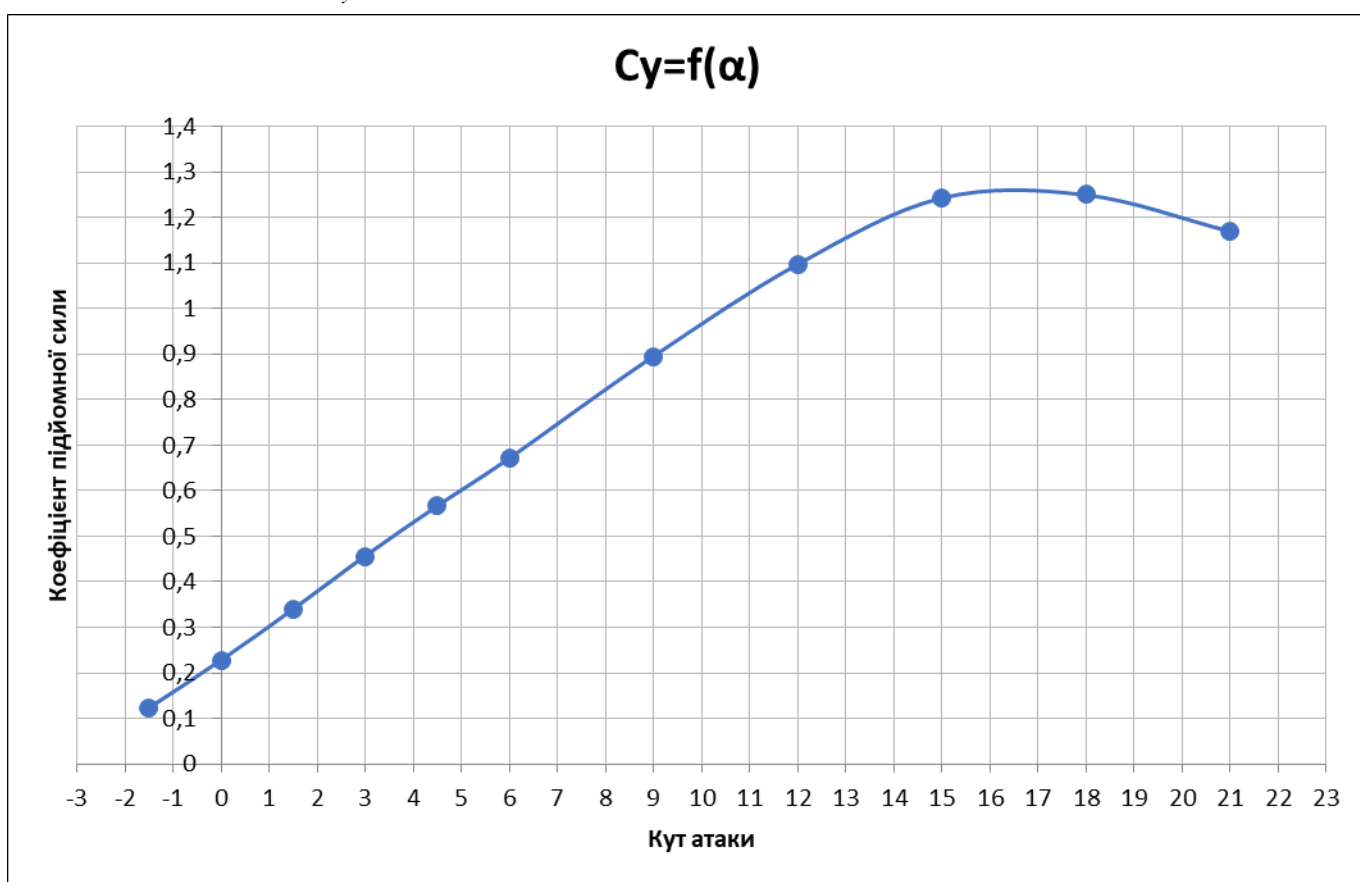


Рисунок 3.1 – Залежність коефіцієнта підйомної сили від кута атаки.

Таблиця 3.2 – Аналогічно проведеному розрахунку були знайдені значення для інших перерізів лопаті ВЕУ.

ro/R	z	Zu	ibCy	Cy	μ	b	α	β	$\phi=\beta-\alpha$	b(м)
1	7	10,033	0,116	0,456	0,047	0,085	3	5,692	2,692	0,315
0,8	5,6	8,041	0,144	0,526	0,049	0,092	3,8	7,089	3,289	0,339
0,6	4,2	6,054	0,190	0,600	0,050	0,105	4,97	9,379	4,409	0,390
0,4	2,8	4,081	0,272	0,703	0,065	0,129	6,15	13,769	7,619	0,477
0,2	1,4	2,153	0,447	0,889	0,077	0,168	7,8	24,912	17,112	0,621

3.5 Розрахунок характеристик ротора вітроустановки

Для розрахунку характеристик ротора ВЕУ, необхідно для відповідного перетину $\frac{r_0}{R}$ та кута встановлення φ , що відповідає перетину отримують значення кута α при яких C_y коливається в межах мінімального та максимального значення;

Для визначення кута між напрямом повітряного потоку та площиною обертання ВЕУ використовують формулу 3.15:

$$\beta_{(k)} = \phi + \alpha_{(k)}; \quad (3.15)$$

$$\beta_{(1,0)} = 2,692 + (1,5) = 4,192^\circ$$

Визначається число модулів прирізних кутах за формулою 3.16:

$$z_u = ctg(\beta_k); \quad (3.16)$$

$$z_u = ctg(4,192) = 13,64;$$

Значення оберненого коефіцієнту якості для відповідного кута атаки можна визначити з описаної залежності $\mu_k = f(\alpha_k)$, (Рис. 3.2).

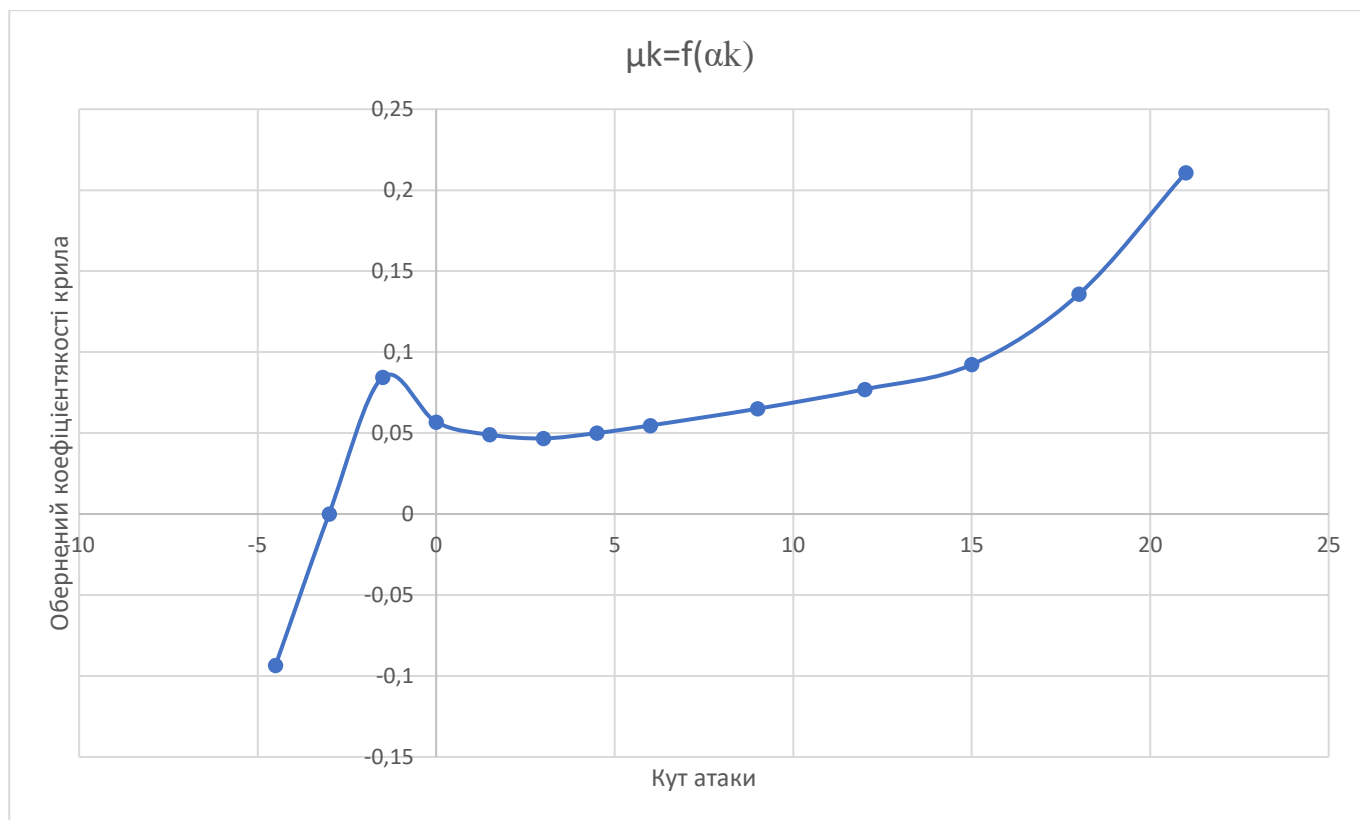


Рисунок 3.2 – Залежність оберненого коефіцієнта якості лопаті

Для відповідного кута атаки знаходиться значення $C_y^{(k)}$;

Згідно першого рівняння зв'язку 3.17, визначення коефіцієнту опору $e_{(k)}$ для відповідного кута атаки лопаті.

$$\frac{e_{(k)}}{(1+e_{(k)})(1-e_{(k)})^2} = C_{y(k)}^2 \frac{(z_{u(k)} + \mu_{(k)})\sqrt{1+z_{u(k)}^2}}{\frac{8\pi}{ib} \frac{r_0}{R}} \quad (3.17)$$

$$\frac{e_{(k)}}{(1+e_{(k)})(1-e_{(k)})^2} = 0,339 \cdot \frac{(13,643 + 0,049)\sqrt{1+(13,643)^2}}{\frac{8\pi}{0,255} \cdot 1,0} = 0,645$$

Отримане рівняння є кубічним, корінь цього рівняння буде шуканий коефіцієнт опору.

Для отриманих значень коефіцієнта опору за формулою 3.18 знаходимо питомий приріст моменту ВЕУ:

$$\Delta \overline{M} = \frac{8(\frac{r_0}{R})^2}{\frac{1+e_{(k)}}{e_{(k)}}} \frac{1-\mu_{(k)}z_{u(k)}}{z_{u(k)}+\mu_{(k)}}; \quad (3.18)$$

$$\Delta \overline{M} = \frac{8(1,0)^2}{\frac{1+0,36}{0,36}} \frac{1-0,049 \cdot 13,64}{13,64+0,049} = 0,05;$$

Для отриманих значень коефіцієнта опору за формулою 3.19 знаходимо число модулів для кожного з перерізу лопаті.

$$z = z_{u(k)}(1-e_{(k)}) - \frac{1}{\frac{1+e_{(k)}}{e_{(k)}}}; \quad (3.19)$$

$$z = 13,64 \cdot (1-0,36) - \frac{1}{13,64 \cdot \frac{1+0,36}{0,36}} = 8,71;$$

Для отриманого значення числа модулів за формулою 3.20 перерахуємо число модулів відносно кінця лопаті:

$$Z = \frac{zR}{r_0}; \quad (3.20)$$

$$Z = \frac{8,71}{1,0} = 8,71;$$

Усі параметри розраховуються аналогічно для кожного з перерізу, отримані характеристики ВЕУ занесені в табл. 3.3 для зручності

Таблиця 3.3 – Розраховані основні характеристики ротора ВЕУ для кожного з перерізів лопаті.

ro/R	ϕ	ib	α	β	zu	μ	Cy	$8\pi r / ib$	Zu+ μ	$\sqrt{1+Zu}$	$\frac{1}{(1+e)}$ $(1-e)^2$	e
1	2,692	0,255	-4,5	-1,808	-31,680	-0,094	-0,108	98,400	-31,773	31,696	1,105	0,465
			-3	-0,308	-186,031	0,000	0,002		-186,031	186,034	-0,703	0
			-1,5	1,192	48,059	0,084	0,122		48,144	48,070	2,869	0,632
			0	2,692	21,268	0,057	0,227		21,325	21,291	1,047	0,454
			1,5	4,192	13,643	0,049	0,339		13,692	13,680	0,645	0,36
			3	5,692	10,033	0,047	0,456		10,080	10,083	0,471	0,303
			4,5	7,192	7,925	0,050	0,566		7,975	7,988	0,366	0,255
			6	8,692	6,541	0,055	0,671		6,596	6,617	0,298	0,22
			9	11,692	4,832	0,065	0,895		4,897	4,935	0,220	0,175
			12	14,692	3,814	0,077	1,097		3,891	3,943	0,171	0,143
			15	17,692	3,135	0,092	1,243		3,227	3,291	0,134	0,117
			18	20,692	2,648	0,136	1,25		2,783	2,830	0,100	0,09
			21	23,692	2,279	0,211	1,17		2,490	2,489	0,074	0,068

Продовження таблиці 3.3

ro/R	ϕ	ib	α	$8r^2$	$(1+e)/e$	$1-Zu*\mu$	ΔM	$Zu(1-e)$	$e/(1+e)*Zu$	z	Z
1	2,692	0,255	-4,5	8							
			-3								
			-1,5								
			0								
			1,5		3,778	0,332	0,051	8,732	0,019	8,712	8,712
			3		4,300	0,531	0,098	6,993	0,023	6,970	6,970
			4,5		4,922	0,604	0,123	5,904	0,026	5,878	5,878
			6		5,545	0,642	0,140	5,102	0,028	5,075	5,075
			9		6,714	0,686	0,167	3,987	0,031	3,956	3,956
			12		7,993	0,706	0,182	3,269	0,033	3,236	3,236
			15		9,547	0,711	0,185	2,768	0,033	2,735	2,735
			18		12,111	0,641	0,152	2,409	0,031	2,378	2,378
			21		15,706	0,519	0,106	2,124	0,028	2,096	2,096

Продовження таблиці 3.3

ro/R	ϕ	ib	α	β	zu	μ	Cy	$8\pi r / ib$	Zu+ μ	$\sqrt{1+Zu}$	$1/(1+e)$ (1-e)^2	e
0,8	3,289	0,275	-4,5	-1,211	-47,308	-0,094	-0,108	73,228	-47,402	47,319	3,308	0,054
			-3	0,289	198,213	0,000	0,002		198,213	198,216	1,073	0,459
			-1,5	1,789	32,015	0,084	0,122		32,100	32,031	1,713	0,547
			0	3,289	17,401	0,057	0,227		17,458	17,430	0,943	0,433
			1,5	4,789	11,936	0,049	0,339		11,985	11,978	0,665	0,365
			3	6,289	9,074	0,047	0,456		9,120	9,129	0,518	0,318
			4,5	7,789	7,311	0,050	0,566		7,361	7,379	0,420	0,279
			6	9,289	6,114	0,055	0,671		6,169	6,195	0,350	0,247
			9	12,289	4,591	0,065	0,895		4,656	4,698	0,267	0,204
			12	15,289	3,658	0,077	1,097		3,735	3,792	0,212	0,17
			15	18,289	3,026	0,092	1,243		3,118	3,187	0,169	0,141
			18	21,289	2,566	0,136	1,25		2,702	2,754	0,127	0,112
			21	24,289	2,216	0,211	1,17		2,427	2,431	0,094	0,085

Продовження таблиці 3.3

ro/R	ϕ	ib	α	$8r^2$	(1+e)/e	1-Zu* μ	ΔM	Zu(1-e)	e/ (1+e)*Zu	z	Z
0,8	3,289	0,275	-4,5	5,12							
			-3								
			-1,5								
			0		2,744	3,309	0,011	0,001	9,866	0,017	9,849
			1,5		3,188	3,740	0,416	0,047	7,579	0,022	7,557
			3		4,215	4,145	0,576	0,078	6,188	0,027	6,162
			4,5		5,310	4,584	0,634	0,096	5,271	0,030	5,241
			6		6,666	5,049	0,666	0,109	4,604	0,032	4,571
			9		6,917	5,902	0,701	0,131	3,654	0,037	3,617
			12		9,403	6,882	0,718	0,143	3,036	0,040	2,997
			15		8,634	8,092	0,721	0,146	2,599	0,041	2,558
			18		10,524	9,929	0,652	0,124	2,279	0,039	2,240
			21		14,514	12,765	0,533	0,088	2,028	0,035	1,992

Продовження таблиці 3.3

ro/R	ϕ	ib	α	β	zu	μ	Cy	$8\pi r / ib$	Zu+ μ	$\sqrt{1+Zu}$	$1/(1+e)$ (1-e)^2	e
0,6	4,409	0,316	-4,5	-0,091	-627,838	-0,094	-0,108	47,757	-627,931	627,838	891,543	#VALUE!
			-3	1,409	40,663	0,000	0,002		40,663	40,676	0,069	0,063
			-1,5	2,909	19,681	0,084	0,122		19,765	19,706	0,995	0,444
			0	4,409	12,970	0,057	0,227		13,027	13,009	0,806	0,402
			1,5	5,909	9,662	0,049	0,339		9,711	9,714	0,670	0,367
			3	7,409	7,690	0,047	0,456		7,737	7,755	0,573	0,337
			4,5	8,909	6,379	0,050	0,566		6,429	6,457	0,492	0,308
			6	10,409	5,444	0,055	0,671		5,499	5,535	0,428	0,282
			9	13,409	4,195	0,065	0,895		4,260	4,312	0,344	0,244
			12	16,409	3,396	0,077	1,097		3,473	3,540	0,282	0,212
			15	19,409	2,838	0,092	1,243		2,931	3,009	0,230	0,181
			18	22,409	2,425	0,136	1,25		2,561	2,623	0,176	0,146
			21	25,409	2,105	0,211	1,17		2,316	2,331	0,132	0,115

Продовження таблиці 3.3

ro/R	ϕ	ib	α	$8r^2$	$(1+e)/e$	$1-Zu*\mu$	ΔM	$Zu(1-e)$	$e/(1+e)*Zu$	z	Z
0,6	4,409	0,316	-4,5	2,88							
			-3								
			-1,5								
			0		3,488	0,263	0,017	7,756	0,022	7,734	12,890
			1,5		3,725	0,527	0,042	6,116	0,028	6,089	10,148
			3		3,967	0,641	0,060	5,099	0,033	5,066	8,443
			4,5		4,247	0,681	0,072	4,415	0,037	4,378	7,296
			6		4,546	0,702	0,081	3,909	0,040	3,868	6,447
			9		5,098	0,727	0,096	3,171	0,047	3,124	5,207
			12		5,717	0,738	0,107	2,676	0,052	2,624	4,374
			15		6,525	0,738	0,111	2,325	0,054	2,271	3,784
			18		7,849	0,671	0,096	2,071	0,053	2,019	3,364
			21		9,696	0,556	0,071	1,863	0,049	1,814	3,023

Продовження таблиці 3.3

ro/R	ϕ	ib	α	β	zu	μ	Cy	$8\pi r / ib$	Zu+ μ	$\sqrt{1+Zu}$	$1/(1+e)$ (1-e)^2	e
0,4	7,619	0,387	-4,5	3,119	18,351	-0,094	-0,108	25,990	18,258	18,379	-1,394	#VALUE!
			-3	4,619	12,377	0,000	0,002		12,377	12,418	0,012	0,011
			-1,5	6,119	9,328	0,084	0,122		9,412	9,381	0,414	0,026
			0	7,619	7,476	0,057	0,227		7,533	7,542	0,496	0,31
			1,5	9,119	6,230	0,049	0,339		6,279	6,310	0,517	0,317
			3	10,619	5,334	0,047	0,456		5,380	5,427	0,512	0,315
			4,5	12,119	4,657	0,050	0,566		4,707	4,763	0,488	0,307
			6	13,619	4,128	0,055	0,671		4,182	4,247	0,459	0,205
			9	16,619	3,350	0,065	0,895		3,415	3,496	0,411	0,275
			12	19,619	2,805	0,077	1,097		2,882	2,978	0,362	0,253
			15	22,619	2,400	0,092	1,243		2,492	2,600	0,310	0,226
			18	25,619	2,085	0,136	1,25		2,221	2,313	0,247	0,192
			21	38,112	1,275	0,211	1,17		1,486	1,620	0,108	0,097

Продовження таблиці 3.3

ro/R	ϕ	ib	α	$8r^2$	$(1+e)/e$	$1-Zu*\mu$	ΔM	$Zu(1-e)$	$e/(1+e)*Zu$	z	Z
0,4	7,619	0,387	-4,5	1,28							
			-3		91,909	1,000	0,001	12,241	0,001	12,240	30,601
			-1,5		39,462	0,212	0,001	9,085	0,003	9,083	22,707
			0		4,226	0,575	0,023	5,158	0,032	5,127	12,816
			1,5		4,155	0,695	0,034	4,255	0,039	4,216	10,541
			3		4,175	0,751	0,043	3,654	0,045	3,609	9,022
			4,5		4,257	0,767	0,049	3,227	0,050	3,177	7,942
			6		5,878	0,774	0,040	3,281	0,041	3,240	8,100
			9		4,636	0,782	0,063	2,429	0,064	2,365	5,912
			12		4,953	0,784	0,070	2,096	0,072	2,024	5,059
			15		5,425	0,779	0,074	1,858	0,077	1,781	4,452
			18		6,208	0,717	0,067	1,685	0,077	1,608	4,019
			21		11,309	0,731	0,056	1,151	0,069	1,082	2,704

Продовження таблиці 3.3

ro/R	ϕ	ib	α	β	zu	μ	Cy	$8\pi r / ib$	Zu+ μ	$\sqrt{1+Zu}$	$1/(1+e)$ $(1-e)^2$	e
0,2	17,112	0,503	-4,5	12,612	4,469	0,000	-0,108	9,996	4,469	4,580	-0,221	#VALUE!
			-3	14,112	3,978	0,084	0,002		4,062	4,101	0,003	0,003
			-1,5	15,612	3,579	0,057	0,122		3,635	3,716	0,165	0,138
			0	17,112	3,248	0,049	0,227		3,297	3,399	0,254	0,196
			1,5	18,612	2,969	0,047	0,339		3,016	3,133	0,320	0,232
			3	20,112	2,731	0,050	0,456		2,781	2,908	0,369	0,256
			4,5	21,612	2,524	0,055	0,566		2,579	2,715	0,396	0,269
			6	23,112	2,343	0,065	0,671		2,408	2,548	0,412	0,275
			9	26,112	2,040	0,077	0,895		2,117	2,272	0,431	0,283
			12	29,112	1,796	0,092	1,097		1,888	2,055	0,426	0,281
			15	32,112	1,593	0,136	1,243		1,729	1,881	0,404	0,272
			18	35,112	1,422	0,211	1,25		1,633	1,739	0,355	0,25
			21	38,112	1,275	0,000	1,17		1,275	1,620	0,242	0,188

Продовження таблиці 3.3

ro/R	ϕ	ib	α	$8r^2$	$(1+e)/e$	$1-Zu*\mu$	ΔM	$Zu(1-e)$	$e/(1+e)*Zu$	z	Z
0,2	17,112	0,503	-4,5	0,32							
			-3		334,333	0,664	0,000	3,966	0,001	3,965	19,824
			-1,5		8,246	0,797	0,009	3,085	0,034	3,051	15,255
			0		6,102	0,841	0,013	2,611	0,050	2,561	12,805
			1,5		5,310	0,861	0,017	2,280	0,063	2,217	11,085
			3		4,906	0,863	0,020	2,032	0,075	1,957	9,785
			4,5		4,717	0,862	0,023	1,845	0,084	1,761	8,806
			6		4,636	0,848	0,024	1,699	0,092	1,607	8,033
			9		4,534	0,843	0,028	1,463	0,108	1,355	6,773
			12		4,559	0,834	0,031	1,291	0,122	1,169	5,845
			15		4,676	0,784	0,031	1,160	0,134	1,026	5,129
			18		5,000	0,700	0,027	1,067	0,141	0,926	4,630
			21		6,319	1,000	0,040	1,035	0,124	0,911	4,555

За розрахованими даними з таблиці 4.3, побудуємо залежність $\Delta \overline{M}_{(k)} = f(Z_{(k)})$ (рис. 3.3) для сталих перерізів $(\frac{r_0}{R})_{(k)}$.

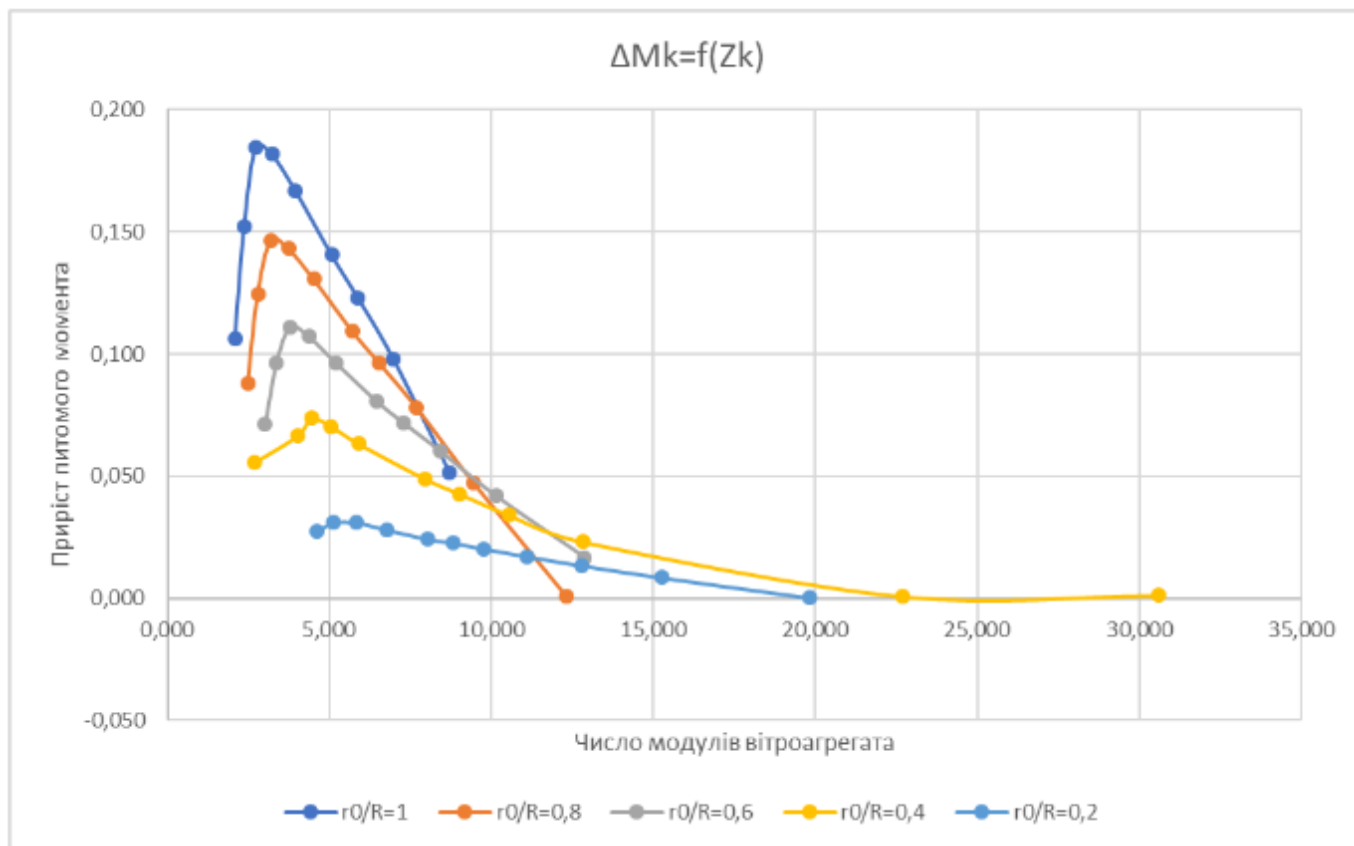


Рисунок 3.3 – Залежність питомого приросту моменту ВЕУ від числа модулів вітроустановки для різних перерізів лопаті

Згідно графіка на рис. 3.3 необхідно знайти розподіл відносного моменту, що буде відповідає графічному вирішенню наступного інтегралу $\int_{r_0}^R \frac{1 - \mu z_u^2}{z_u + \mu} \bar{r} d\bar{r}$

Після визначення $\overline{M}_{(k)} = \frac{\int_{r_0}^R \Delta M_{(k)} dr}{\frac{r_0}{R}}$, побудуємо графік $\Delta \overline{M}_{(k)} = f(r)$ (рис. 3.4)

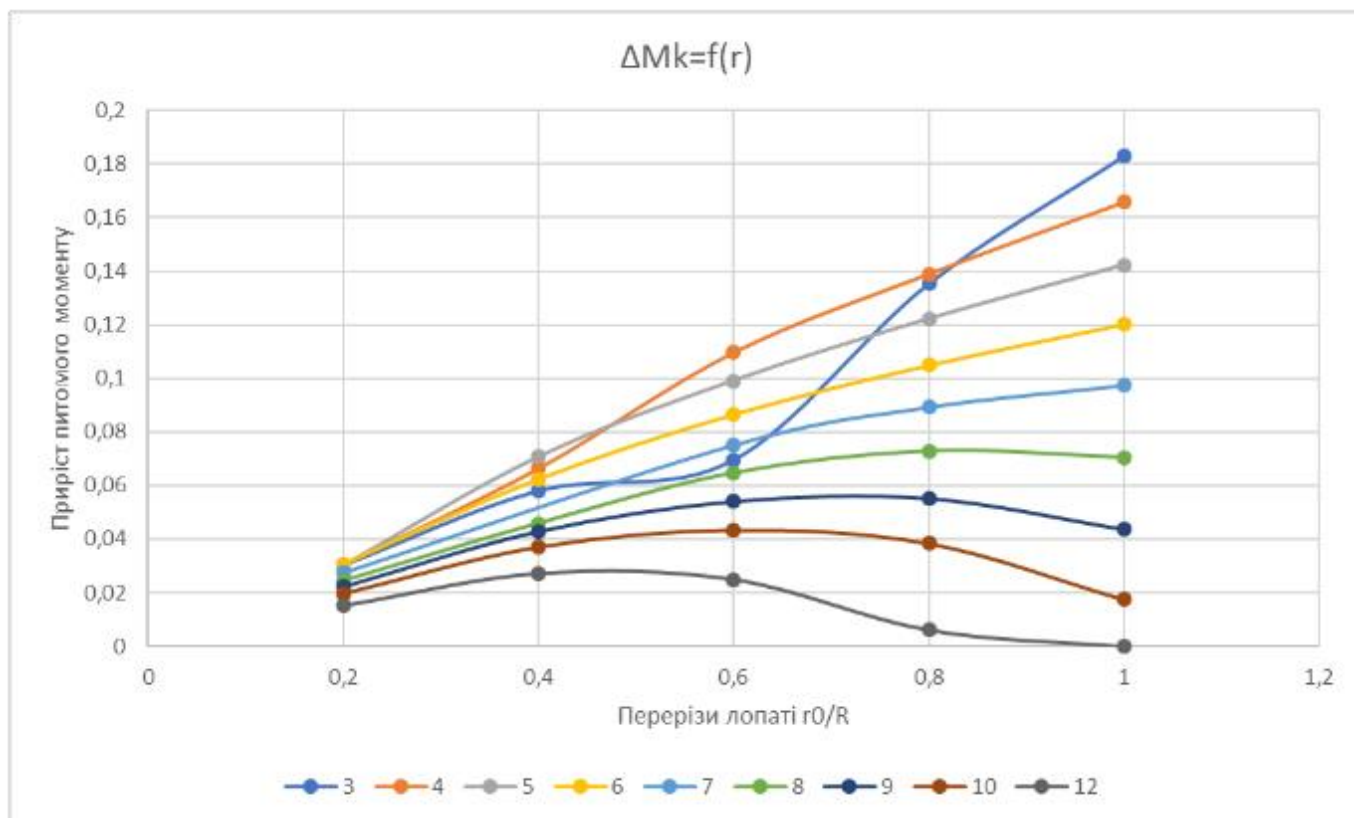


Рисунок 3.4 – Залежність приросту питомого моменту від перерізу на лопаті при різних значеннях числа модулів.

Для знаходження значень моменту необхідно знайти площу між віссю r_0/R та кривою $z = f(r)$, що є рішенням інтегралу $\int_{r_0}^R A d\bar{r}$.

Знайдені значення дозволяють побудувати характеристику моментів ВЕУ (рис. 3.5).

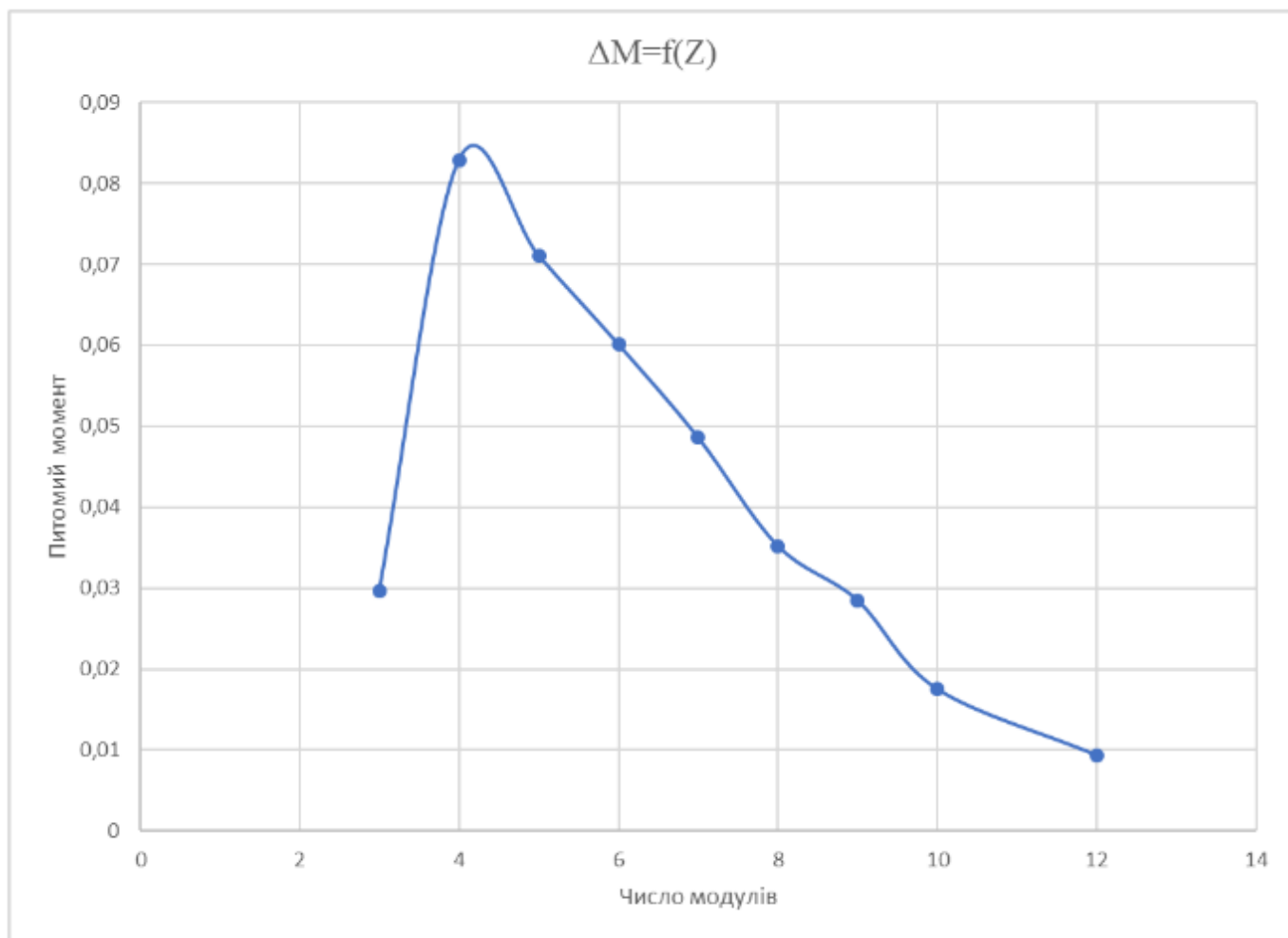


Рисунок 3.5 - Характеристика моментів ротора в залежності від числа модулів вітроустановки без врахування кінцевих втрат

Розрахуємо кінцеві втрати моменту, які визначаються за виразом 3.21:

$$\overline{M}_j \cong \frac{4e^2}{z(1+e)} \left[\frac{8\sqrt{1+(\frac{1-e}{z})^2}}{iz(1+e)} - \frac{1}{\sqrt{1+\left[\frac{iz}{\pi(1+0,5e)}\right]^2}} \right] \quad (3.21)$$

$$\overline{M}_j \cong \frac{4 \cdot 0,13^2}{3(1+0,13)} \left[\frac{8\sqrt{1+(\frac{1-0,13}{3})^2}}{3 \cdot 3(1+0,13)} - \frac{1}{\sqrt{1+\left[\frac{3 \cdot 3}{\pi(1+0,5 \cdot 0,13)}\right]^2}} \right] = 0,01$$

Аналогічно розраховані значення для всіх значень числа модулів наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Розраховані кінцевих втрати моменту для кожного числа модулів

z	3	4	5	6	7	8	9	10	12
e	0,13	0,177	0,217	0,2607	0,304	0,337	0,3697	0,402	0,466
ΔM	0,01	0,009	0,008	0,008	0,007	0,006	0,006	0,005	0,004

Віднімаючи ці розрахункові значення від значень кривої значень моментів отриманої раніше, отримаємо характеристику моментів з урахуванням кінцевих втрат (рис. 3.6), що є дійсною характеристикою моментів .

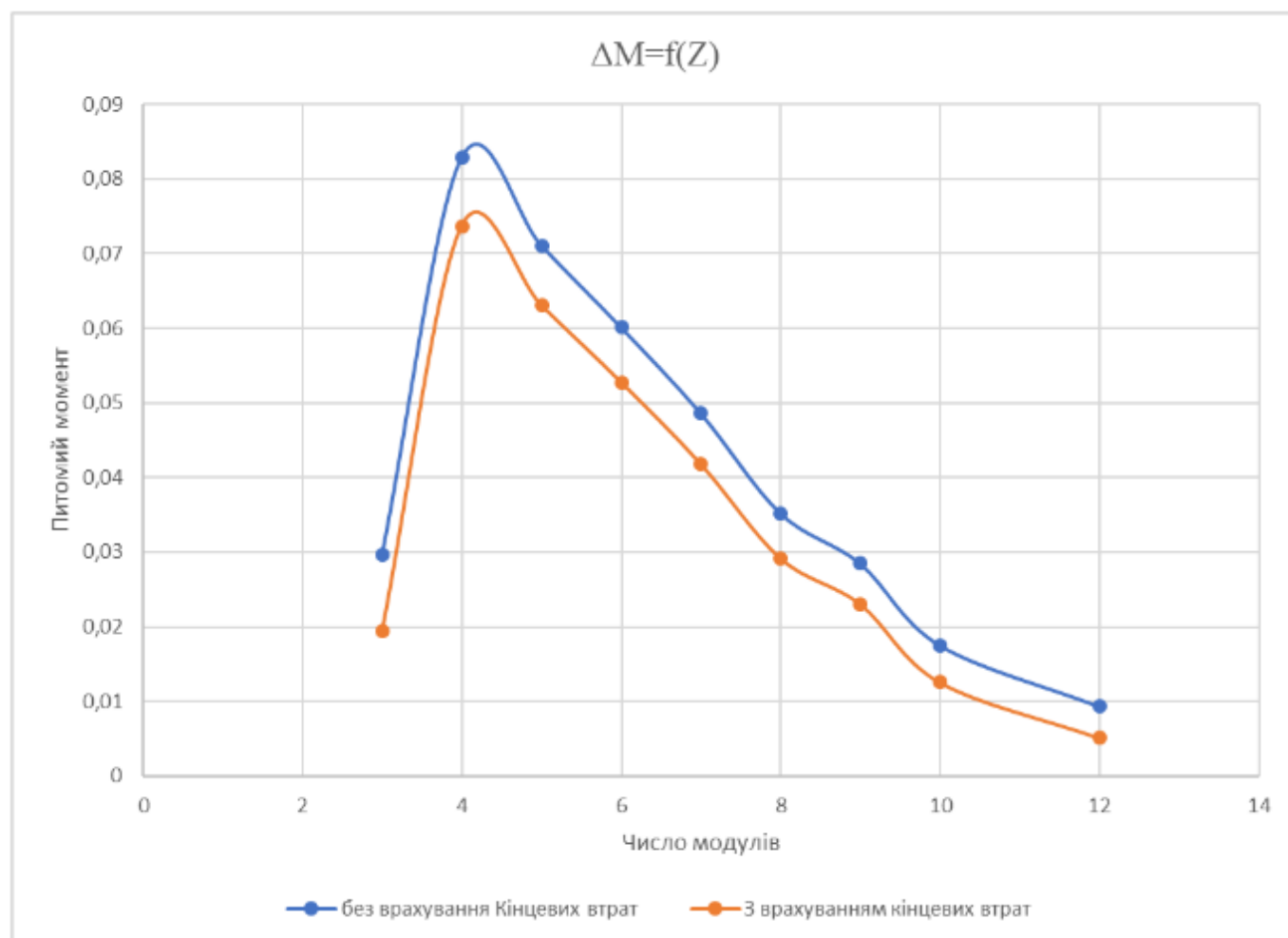


Рисунок 3.6 – Залежність моментів ротора при різних значеннях числа модулів ВЕУ.

Для знаходження коефіцієнта потужності ВЕУ необхідно перемножити значення \overline{M} та відповідні значення числа модулів, як показано у формулі 3.22.

$$\xi = \overline{M} \cdot z \quad (3.22)$$

$$\xi = 0,019 \cdot 3 = 0,058$$

Аналогічний розрахунок проведений для кожного значення числа модулів ВЕУ (табл. 3.5)

Таблиця 3.5 – Розрахункові значення коефіцієнта потужності

z	3	4	5	6	7	8	9	10	12
M	0,019	0,074	0,063	0,053	0,042	0,029	0,023	0,013	0,005
ξ	0,058	0,295	0,315	0,317	0,293	0,234	0,208	0,126	0,062

За розрахованими значеннями з таблиці будемо залежність коефіцієнта потужності (рис. 3.7) , на основі залежності можна знайти максимальне значення коефіцієнта потужності та кількість модулів, при якій воно досягається.

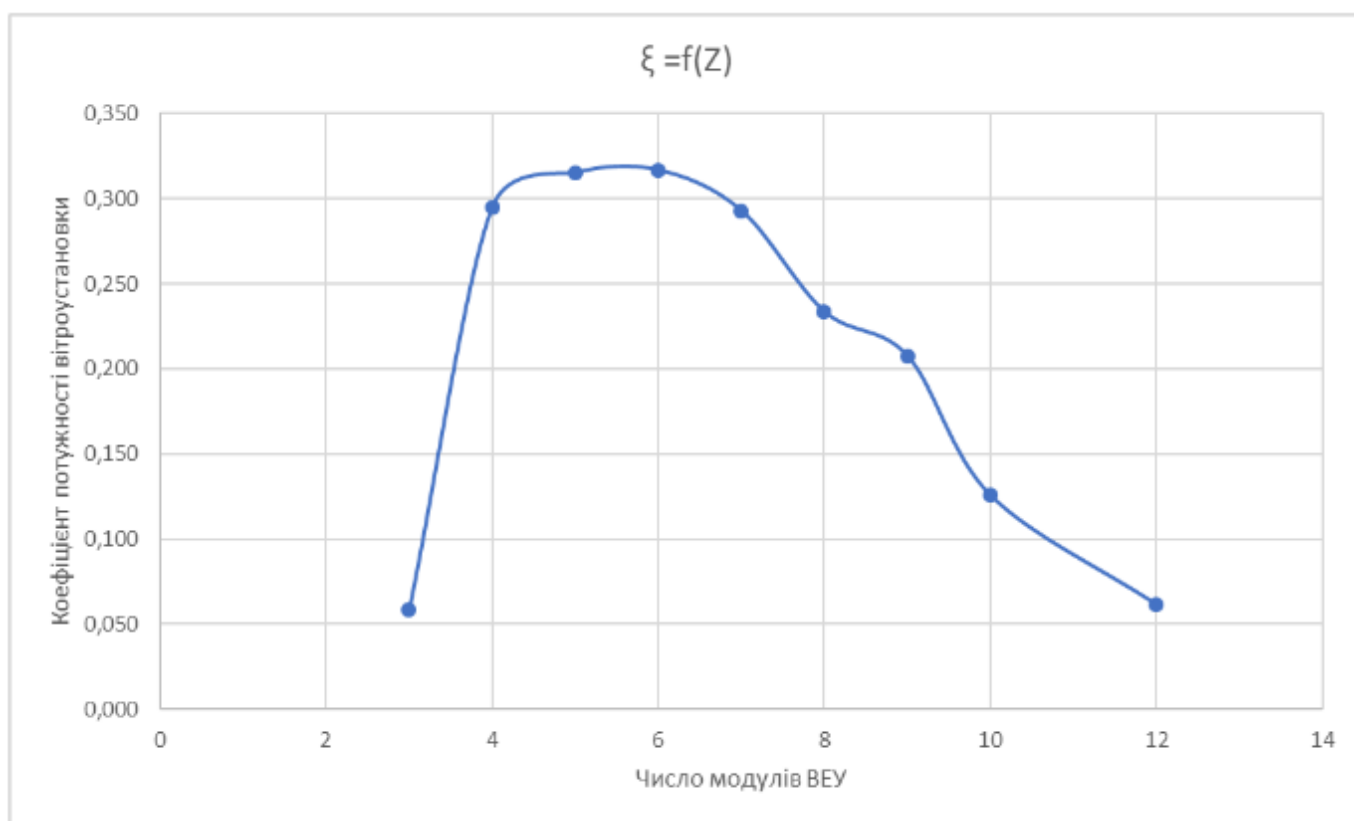


Рисунок 3.7 – Графік залежності коефіцієнта ВЕУ від числа модулів ВЕУ

Згідно отриманого графіка бачимо, що максимальне значення $\xi=0,317$ і досягається воно при $z=6$.

3.6 Мінімальна висота опори

Для знаходження мінімальної висоти опори ВЕУ використовується формула

3.23:

$$H = h + c + R, \text{ м} \quad (3.23)$$

де h – висота перешкод, що знаходять поруч з ВЕУ;

c – відстань між верхньою точкою перешкоди і нижньою точкою вітроколеса;

R – розрахований радіус ВЕУ.

$$H = 10 + 2 + 3,7 = 15,7(\text{м})$$

3.7 Вітрове навантаження на опору

Для розрахунку навантаження, зумовленого тиском вітру на ВЕУ використаємо формулу 3.24:

$$P_{\max} = R_x \left(\frac{H}{H_{\text{мод}}} \right)^2 v^2 \quad (3.24)$$

де R_x - значення коефіцієнт лобового тиску;

$H_{\text{мод}}$ – висота моделі, що створена з урахуванням масштабу аналогічно ВЕУ, м;

H – розрахована висота опори ВЕУ, м;

v – швидкість вітру при бурі.

В якості опори було обрано опору циліндричного типу, для розрахунку навантаження вираз набуває наступного вигляду (3.25):

$$P = 7,1\beta H^2, \text{ кг} \quad (3.25)$$

де β – коригуючий коефіцієнт, в залежності від відношення висоти до діаметру опори

$$P_{\max} = 7,1 \cdot 1,01 \cdot 16^2 = 1835,78(\text{кг})$$

3.8 Лобовий тиск на ротор

На основі кривих (рис 3.8) знайдемо критичну швидкість ВЕУ.

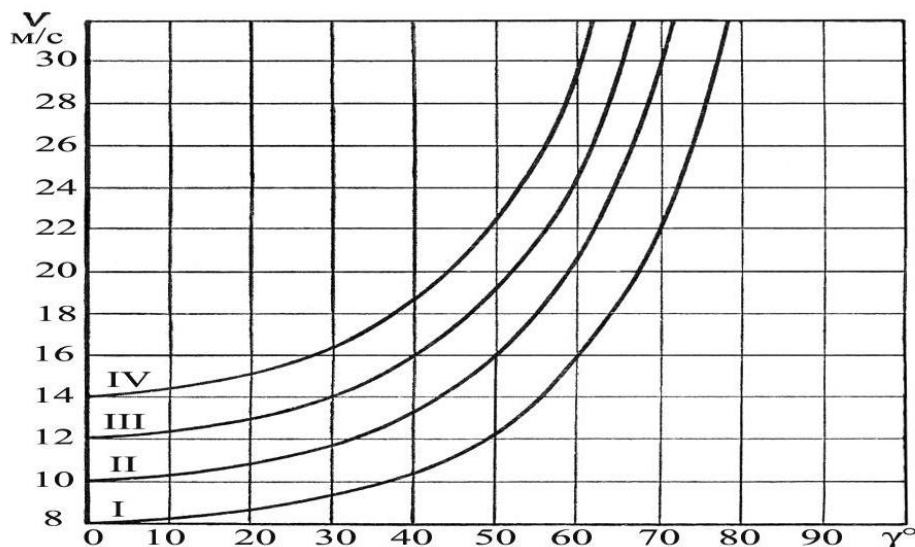


Рисунок 3.8 - Криві зміни кутів залежно від швидкості вітру, за якої N та ω – const:

I – за $V_n = 8$ м/с; II – за $V_n = 10$ м/с; III – за $V_n = 12$ м/с; IV – за $V_n = 14$ м/с
(V_n – критична швидкість вітру).

$$P = c_y S \frac{\rho}{2} (\omega^2 r_0^2 + v^2) \sin \alpha \quad (3.26)$$

де C_y – значення коефіцієнту підйомної сили;

$$C_y = 1,12$$

S – розрахована площа лопаті;

r_m – радіус лопаті (умовний), що знаходиться за формулою 3.27:

$$r_m = \sqrt{\frac{R^2 + Rr_0 + r_0^2}{3}}; \quad (3.27)$$

де R – радіус кола, що описує верхній кінець лопаті;

r_0 – радіус кола, що описується нижнім кінцем лопаті.

$$r_m = \sqrt{\frac{(0,8 \cdot 3,7)^2 + (0,8 \cdot 3,7) \cdot 0,933 + 0,933^2}{3}} = 2,038;$$

ω – кутова (колова) швидкість;

v – середнє значення швидкості вітру;

i – кількість лопатей;

n – коефіцієнт перевантаження, що можна знайти за формулою 3.28:

$$n = \frac{\omega^2 r^2 + v_n^2}{\omega^2 r^2 + v^2} \quad (3.28)$$

де v_n – швидкість поривчатого вітру.

$$n = \frac{2,02^2 \cdot (0,8 \cdot 3,7)^2 + 9,3^2}{2,02^2 \cdot (0,8 \cdot 3,7)^2 + 4,7^2} = 2,113$$

$$P = 1,12 \cdot (3,7 \cdot 0,8 \cdot \frac{0,8 + 0,87}{2}) \cdot \frac{0,125}{2} (2,02^2 \cdot 1,943^2 + 4,7^2) \cdot 3 \cdot 2,113 = 657,938(\text{кГ})$$

3.9 Момент біля основи опори

За виразом 3.29 знайдемо момент, що діє біля основи ВЕУ:

$$M = P_{\text{л}} H_{\text{л}} + P_{\text{б}} H_{\text{б}}; \quad (3.29)$$

де $P_{\text{л}}, P_{\text{б}}$ – прикладені зусилля до ротора та башти вітроустановки відповідно;

$H_{\text{л}}, H_{\text{б}}$ – відстань від фундаменту до основи точок прикладення зусиль

$$M = 1835,78 \cdot 16 + 657,938 \cdot 10 = 35951,86(\text{кГ});$$

За формулою 3.40 знайдемо орієнтовну масу фундаменту для ВЕУ:

$$G_{\phi} = b^2 \cdot h \cdot \gamma \quad (3.40)$$

Де b^2 – розрахована площа фундаменту;

h – глибина закладання фундаменту;

γ – густина бетону $\approx 2 \cdot 10^3 \text{кГ/м}^3$).

Для знаходження площі фундаменту використаємо формулу 3.41:

$$b^2 = \frac{P + G}{20 \cdot 10^3 - \gamma h} \quad (3.41)$$

$$b^2 = \frac{35951,86 + 16000}{20 \cdot 10^3 - 2000 \cdot 2,5} = 3,46(\text{м}^2)$$

$$G_{\phi} = 3.5 \cdot 2 \cdot 2000 = 14000(\text{кг})$$

3.10 Вибір акумуляторних батарей та розрахунок необхідної кількості

Розрахунок акумуляторних батарей проводиться на основі їх номінальних параметрів. Було обрано мультигелевий АКБ, загальні характеристики наведені в табл. 3.6

Таблиця 3.6 – Параметри обраних АКБ

Назва	Logicpower LPM MG
Вага, кг	68
Потужність, кВт	3
Напруга, В	12
Ємність, А·г	250
Габарити (ДхШхВ), мм	510х220х260

Оскільки, розрахована необхідна потужність розрахована для пікового навантаження, що припадає на піки ранішнього і вечірнього піку, то розрахуємо необхідну кількість АКБ за формулою 3.42.

$$n = \frac{P \cdot 3 \cdot 10^3}{U \cdot C} = \frac{36 \cdot 3 \cdot 10^3}{12 \cdot 250 \cdot 0,8} \approx 45(\text{шт.}) \quad (3.42)$$

Висновки до розділу 3

В даному розділі був проведений розрахунок вітроустановки номінальною потужністю 7,5 кВт. Для проекрованої ВЕУ був обраний профіль Munk-15. Розрахований коефіцієнт потужності склав 0,317. Обраний тип та проведений розрахунок опори для ВЕУ. Розраховано необхідну кількість АКБ.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

4.1 Вплив показників якості електроенергії на роботу електроприймачів

Більшість електроприймачів може працювати і за інших значень відхилення напруги, але при цьому спостерігатимуться відчутні народногосподарські збитки.

Збитки, зумовлені низькою якістю напруги, мають дві складові: електромагнітну та технологічну.

Електромагнітна складова визначається зростанням втрат енергії та зменшенням терміну служби електрообладнання.

Технологічна складова збитків зумовлена впливом якості напруги на продуктивність технологічних установок та на собівартість продукції. Технологічні збитки складають до 90...92% усіх збитків і вміщена в собівартість продукції. Енергетики замовчують це питання, технологи, як правило, не знають причини технологічних збитків.

При відхиленнях напруги на затискачах асинхронних двигунів змінюється швидкість ротора, реактивна потужність та втрати активної потужності

При тривалій роботі з пониженою напругою термін служби двигуна зменшується. Відбувається відносне старіння ізоляції.

Найжорсткіші вимоги до якості напруги ставлять освітлювальні електроприймачі. Зміна основних параметрів ламп при відхиленнях напруги на їхніх затискачах, що не перевищують $\pm 10\%$

Підвищення напруги на затискачах ламп розжарювання на 6% викликає зниження терміну служби на 50%. Для люмінесцентних ламп ця залежність відображена слабше. Проте, як підвищення, так і зниження напруги на їхніх затискачах небажане. У першому випадку відбувається інтенсивне розпилення оксидної речовини з електродів і перегрів ПРА, у другому - зміна тиску пари ртуті у колбі, що призводить до зниження терміну служби та нестійкого запалювання. Враховуючи, що вартість люмінесцентних ламп у 10 разів вища за вартість ламп

розжарювання, навіть зниження терміну служби їх на 20-30% при підвищенні напруги на 10% викликає значні народногосподарські збитки.

Зниження напруги у ламп розжарювання на 1% викликає зменшення світлового потоку на 2,7%, у люмінесцентних ламп - на 1,25%. Зменшення світлового потоку, у свою чергу, призводить до погіршення санітарногігієнічних умов для працюючих і до зниження продуктивності праці.

Суттєво чутливі до відхилень напруги термічні установки та електропечі. Зниження напруги призводить до збільшення тривалості технологічних циклів. Продуктивність печей знижується, підвищуються витрати електроенергії, збільшується собівартість продукції. При відхиленнях 10% з'являється брак.

4.2 Оцінка економічного збитку у освітлювальному комплексі через низьку якість електроенергії

Одним з питань економічного обґрунтування оптимального рівня електропостачання освітлювального комплексу є оцінка його економічного збитку від зниження якості електричної енергії з урахуванням річної витрати на заміну джерел світла на підприємствах. Аналіз опублікованих робіт з питання оцінки економічних збитків (втрат) від ненадійності електропостачання і зниження якості електроенергії дозволив виявити, що протягом останніх десятиліть активність досліджень проблем збитків від порушень електропостачання споживачів значно знизилася. В сучасних дослідженнях розглядаються, в основному, тільки методичні питання, які базуються на раніше розроблених методичних положеннях.

Згідно [9, 11], щорічний економічний збиток від зниження якості електричної енергії визначається за формулою 4.1, . як сума збитку від несиметрії і несинусоїдальної напруги, а також збитку від відхилення напруги.

$$Z = Z_n + Z_{\text{від}} \quad (4.1)$$

де Z_n – сума збитків від несиметрії та несинусоїдальної напруги, грн/рік;

Звід – сума збитків зумовлених відхиленням напруги, грн/рік.

Оскільки, розглядаються в основному комунально-побутові споживачі електроенергії, то їх можна, згідно [10], розділити на три групи:

- споживачі, які не допускають перерв у електропостачання через можливе виникнення небезпеки для життя людей і т.п. ;

- споживачі, порушення електропостачання яких призводить до певного економічного збитку (підприємства громадського харчування, міський електротранспорт, і т.п.). Питома вага їх може досягати 55%;

- споживачі, перерва в електропостачанні яких викликає ряд незручностей, але не викликає помітних економічних наслідків: зовнішнє освітлення, освітлення громадських будівель, кондиціонування повітря і т.п. Питома вага їх може становити 30% загальної витрати електроенергії.

Кількісні значення питомих збитків в ринкових умовах на цих підприємствах практично не уточнювалися. Згідно [12], зниження якості електроенергії призводить до наслідків, які кількісно можна визначити у вигляді економічних збитків за формулою 4.2.

$$f = a \cdot \Delta U^2 + c \cdot \Delta U, \quad (4.2)$$

де f – економічні збитки від електроенергії низької якості;

a, c – коефіцієнти економічних втрат;

ΔU – відхилення напруги від номінального значення.

Визначення економічного збитку засноване на кількісній оцінці трьох видів негативних наслідків: збільшення втрат активної потужності, скорочення терміну служби світлотехнічного обладнання і збільшення капітальних вкладень в освітлювальний комплекс.

Оскільки, на комунальних підприємствах для освітлення використовується в основному однорідне навантаження, то економічні збитки від відхилення рівня напруги від номінального для освітлювальних приладів складе 17309,7 грн./рік.

Річну витрату на заміну освітлювальних приладів можна розрахувати за формулою 4.3.

$$Z = Z_{\text{зам}} + Z_{\text{від}}, \quad (4.3)$$

де $Z_{\text{зам}} = Z_{\text{дж}} + Z_{\text{зам.дж.}}$

де - $Z_{\text{дж}}$ – вартість джерела світла;

$Z_{\text{зам.дж.}}$ – вартість заміни джерела світла

З огляду на, що в реальних установках зовнішнього освітлення термін служби ламп провідних виробників в 2-3 рази менше заявленого паспортного значення [12], а також з урахуванням досліджень, згідно з якими в другій половині терміну експлуатації 50% ламп виходять з ладу в результаті підвищеної напруги, то економічні збитки від відхилення напруги з урахуванням експлуатаційних витрат, пов'язаних з заміною що вийшли з ладу джерел світла, складе:

$$Z = 17309,74 \text{ грн.} + 605417,1 \text{ грн.} = 622726,84 \text{ грн.}$$

4.3 Оцінка вартості установки для підвищення якості електроенергії

За результатами передпроектної оцінки були визначені сумарні інвестиційні витрати (з урахуванням ПДВ) у будівництво ВЕУ 7,5 кВт загальною вартістю 300000 грн, вартість 1 кВт = 40000 грн за кВт. Вартість ВЕУ з урахуванням доставки і монтажу.

Структура витрат на реалізацію інвестиційного проекту ВЕС наведена у табл.

4.1

Витрати на інвестиції проекту:

- Капітальні витрати 60%
- Поточні витрати 40%

Таблиця 4.1 структура капітальних витрат проекту ВЕС

Структура кап. витрат	% від витрат	Сума тис. грн.
Підготовчі роботи	7	12,6
Вартість ВЕУ	75	135
Фундамент	8	14,4
Електромонтажні роботи	8	14,4
Будівництво доріг	1	1,8
Консультаційні послуги	1	1,8
Всього	100	180

Поточні витрати складають 40% і включають в себе такі основні затрати на експлуатацію, куди входять ремонт і обслуговування ВЕУ та інші витрати, до яких входять податки, плата за землю, заробітна плата, витрати на забезпечення передачі електроенергії. Детальний опис та величина витрат показана в табл. 4.2.

Таблиці 4.2 структура поточних витрат проекту ВЕС

Структура пот. витрат	% від витрат	Сума тис. грн
Експлуатація	22,73	27,28
Ремонт(пот. + кап. =100%)	26,67	32
Поточний	0,00	30
Капітальний	0,00	2
Обслуговування	6,67	8
Інші витрати	10,60	12,72
Податок на нерухомість	7,93	9,52
Менеджмент	11,90	14,28
Передача елек.	1,60	1,92
Плата за землю	7,93	9,52
Страхування	2,37	2,84
Підстанція	1,60	1,92

Розрахуємо вартість АКБ

Оскільки було обрано мультигелеві АКБ Logispower LPM MG.

Згідно даних поставників, орієнтовна вартість складає 11 500 грн., а нам необхідно 45 шт, то вартість АКБ складе:

$$45 \cdot 11\,500 = 517\,500 \text{ грн.}$$

Отже загальна вартість ВЕУ та АКБ складе:

$$300\,000 + 517\,500 = 817\,500 \text{ грн.}$$

Термін окупності складе:

$$T = 817500 / 622776 \approx 2 \text{ (роки)}$$

Висновок до розділу 4:

Отримана орієнтовна вартість економічних збитків через низьку якість електроенергії. Розрахована оціночна вартість вітроустановки, розрахована орієнтовний склад для встановлення та обслуговування. Знайдена вартість АКБ для забезпечення резерву живлення установки. Розрахована економічна доцільність встановлення та орієнтовний термін окупності.

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Використання силової установки на базі ВЕУ для підвищення параметрів якості електроенергії мережі.

Вітроустановка є вартісною установкою орієнтовна вартість ВЕУ складає 300 тис. грн., при цьому система акумулювання для силової установки коштує приблизно 517 тис. грн. Зважаючи на високу вартість дана установка дасть змогу уникнути значних економічних збитків і продовжити термін експлуатації обладнання.

5.1.1 Опис ідеї проекту

В даному підрозділі були проаналізовані та подані у вигляді таблиці:

- зміст ідеї (що пропонується)
- можливі напрямки застосування
- основні вигоди, що може отримати користувач послуги
- чим відрізняється від існуючих аналогів, замінників;

Перші три пункти були подані у вигляді таблиці (таблиця 5.1), вони дають цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Ідея полягає у використанні силової установки на базі ВЕУ для забезпечення якісних показників мережі 0,4 кВ.	Локальні мережі 0,4 кВ з показниками якості, що не задовольняють нормовані значення.	Зменшення економічних втрат викликаних низькою якістю електроенергії

В ході дослідження ринку, аналогів установки не виявлено.

5.1.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В даному підрозділі був проведений аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Для визначення технологічного здійснення ідеї проекту передбачається аналіз складових як ідея проекту, технології реалізації, наявність технологій та доступність технологій. Всі ці складові зведено в табл. 5.2 для зручності. Розглядаються показники, які були розраховані в попередніх розділах магістерської дисертації

Таблиця 5.1 Опис ідеї технології реалізації, наявності технологій та доступності технології.

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
Забезпечення показників якості електроенергії споживачів у локальній мережі 0,4 кВ	1) Моделювання електромагнітних процесів ВЕУ та лінії 0,4 кВ	Пакет програм Matlab	Доступні
	2) Аеродинамічний розрахунок ВЕУ	MathCAD, Excel	Доступні
	3) Розрахунок опори ВЕУ та ємності АКБ	Excel	Доступні
	4) Розрахунок фінансово-економічних показників	Excel	Доступні

Було запропоновано варіант підключення установки, результати розрахунків наведені на рис. 5.1

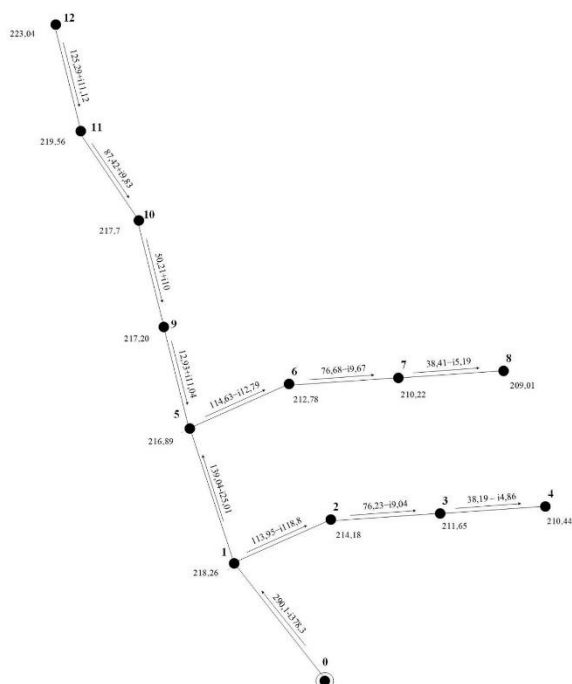


Рисунок 5.1 – Параметри мережі після приєднання до вузла 12 ВЕУ, потужністю 36 кВт.

5.1.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для того щоб спланувати напрями розвитку проекту та потреби потенційних клієнтів, потрібно визначити ринкові можливості, які використовуються використовуються під час ринкового впровадження об'єкту.

Аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку; зображено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Відсутні
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнує
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Мінімальний рівень первинних інвестицій
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Стандарти з випереджаючими вимогами

Проаналізувавши дану таблицю слід звернути увагу на 5 пункт. Стандарти з випереджаючими вимогами є своєрідним прогнозом технічного прогресу продукції,

що розробляється. При цьому повинні використовуватись найсучасніші методи прогнозування і оптимізації.

Для того, щоб розрахувати внутрішню норму прибутку, тобто рентабельність інвестицій, була використана формула (4.1).

$$IRR = \left(S_n / I_0 \right)^{1/n} - 1 = \sqrt[n]{S_n / I_0} - 1 \quad (5.1)$$

де, IRR – Внутрішня норма прибутку (англ. Internal Rate of Return),

S_n – Дохід за період n ,

I_0 – Величина початкових витрат (інвестицій).

За попередніми оцінкам величина інвестицій для виготовлення установки склала 817 тис. грн. В загальному випадку, сума економічного збитку через низьку якість електроенергії, що була проведена за допомогою оцінки збитків у освітлювальному комплексі складає 622 тис. грн.

Доцільно буде провести розрахунки для періоду окупності проекту:

$$T_0 = I_0 / P_1 \times M \quad (5.2)$$

де, T_0 – Період окупності;

I_0 – Розмір початкових капіталовкладень;

P_1 – Прибуток за 1 рік;

M – Кількість місяців;

$$T_0 = 817 / 622 \times 12 = 15,7 \text{ міс.}$$

З розрахунку випливає, що період окупності інвестицій T_0 складає 15,7 місяців.

На основі аналізу факторів загроз та ринкових можливостей маркетингового середовища був складений SWOT – аналіз. Матриця аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) таблиця 5.4.

Таблиця 5.4 SWOT – аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: малий період окупності стартап-проекту	Слабкі сторони: необхідність модернізувати установку при зміні параметрів мережі
--	--

<p><i>Можливості:</i> впровадження даної технології не тільки для мереж 0,4 кВ, а й інших мереж більшої потужності. Можливість застосовувати установку точково.</p>	<p><i>Загрози:</i> відсутні</p>
---	---------------------------------

Висновки до розділу 5

В даному розділі розроблено стартап проект основною ідеєю якого є використання установки на базі ВЕУ для покращення якісних показників мережі і як наслідок зниження економічних збитків від низької якості електроенергії.

Правильна реалізація проекту створює передумови для успішного початку підприємницької діяльності. Розрахований термін окупності, що складає близько двох років

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Загальні положення

Загальні положення, що визначають пріоритет життя і здоров'я працівників, які здійснюють експлуатацію та технічне обслуговування ВЕУ, по відношенню до результатів виробничої діяльності і спрямований на забезпечення охорони праці (правил безпеки) при експлуатації і технічному обслуговуванні ВЕС.

Працівників, які не досягли 18-річного віку, не допускається залучати до наступних робіт з важкими і шкідливими умовами праці:

- обслуговування підземних теплопроводів і споруд теплових мереж, технологічних пристроїв теплових пунктів; теплофікаційних вводів;
- експлуатації та ремонту обладнання в зоні іонізуючих випромінювань;
- газоелектрозварювальним пристроям ;
- обслуговування хлораторного обладнання в разі, якщо доводиться мати справу з хлором;
- обслуговування вантажопідіймальних машин і механізмів як кранівників, машиністів, стропальників, такелажників;
- обслуговування газового обладнання та підземних газопроводів;
- Обслуговування посудин і трубопроводів, підконтрольних інстанціям;
- водіння автотранспортних засобів, електро- і автонавантажувачів;
- ремонту автомобілів, що працюють на етильованому бензині, по монтажу і демонтажу шин;
- проведення рентгено-гамма-дефектоскопі;
- верхолазним роботам;
- зберігання, транспортування та застосування вибухонебезпечних речовин;
- робіт із застосуванням пневматичного інструменту і будівельно-монтажного пістолета;
- на робочих місцях ВЕС, на яких доводиться мати справу з відкритою ртуттю;
- обслуговування спеціалізованих складів з паливно-мастильними та вибуховими матеріалами, отрутохімікатами, кислотами і лугами, хлором і хлорним вапном, в разі, якщо такі матеріали і речовини знаходять застосування ВЕУ;

- з нафтопродуктами;
- пов'язаних з підйомом і переміщенням вантажів вище норм, встановлених для підлітків.

Жінки не допускаються до робіт, зазначених у Переліку важких робіт і робіт зі шкідливими або небезпечними умовами праці, при виконанні яких забороняється застосування праці жінок.

6.2 Загальні вимоги до безпеки обладнання

Обладнання ВЕУ має забезпечувати безпеку працюючих при введенні в експлуатацію і експлуатації, монтажу (демонтажу) як в разі підключення до мережі, так і автономного використання, а також у складі комплексів за умови дотримання вимог та правил, передбачених експлуатаційною документацією.

Обладнання повинно забезпечувати безпеку для життя і здоров'я людей, як при нормальній роботі ВЕУ, так і при екстремальних розрахункових метеорологічних умовах, а також при відмовах окремих технічних засобів, що входять до складу станції.

Обладнання ВЕС має забезпечувати захист обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом, від травмування обертовими рухливими частинами, при підйомі по внутрішнім або зовнішнім сходах, від опіків в результаті зіткнення з нагрітими поверхнями, від шуму і вібрації, від викидів шкідливих газів (для ВДЕС)

6.3 Загальні вимоги до процесів експлуатації та технічного обслуговування

Процеси вироблення енергії, здійснення експлуатації та технічного обслуговування повинні бути пожежо- і вибухобезпечними.

Процеси здійснення експлуатації та технічного обслуговування не повинні супроводжуватися забрудненням навколишнього середовища (повітря, ґрунту, водойм) і поширенням шкідливих факторів вище гранично допустимих норм, що встановлені законодавством.

Процеси експлуатації та технічного обслуговування повинні бути розроблені з урахуванням забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу від:

- ураження електричним струмом;
- впливу електричних полів;
- травмування обертовими і рухомими частинами;
- травмування при виконанні верхолазних робіт і робіт на висоті;
- травмування при пожежах та вибухах;
- опіків в результаті зіткнення з нагрітими поверхнями;
- загазованості виробничих приміщень паливними газами (для ВДЕС);
- впливу шуму і вібрації.

Експлуатація ВЕУ повинна здійснюватися на основі комплексної механізації, автоматизації, із застосуванням дистанційних методів управління, контролю та реалізації безпечних режимів роботи, внутрішньої діагностики обладнання вітроустановок з використанням комп'ютерних технологій.

На випадок аварії ВЕС повинні бути розроблені заходи, спрямовані на запобігання забруднення навколишнього середовища, виникнення пожежі або вибуху.

У виробничих приміщеннях повинні бути аптечки, укомплектовані перев'язувальним матеріалом і медикаментами. Аптечки повинні міститися в чистоті і порядку, а запас матеріалів і медикаментів - систематично поповнюватися. В аптечці повинен бути список необхідних матеріалів і медикаментів, а також вказівки щодо їх застосування.

Двері приміщень ВЕУ, камер, щитів і збірок, крім тих, в яких проводяться роботи, повинні бути закриті на замок.

Порядок зберігання і видачі ключів від електроустановок визначається розпорядженням керівника організації. Ключі від електроустановок повинні перебувати на обліку у оперативного персоналу. В електроустановках, що не мають

місцевого оперативного персоналу, ключі можуть бути на обліку у адміністративно-технічного персоналу.

Ключі повинні бути пронумеровані і зберігатися в ящику, що можна закрити на замок. Один комплект повинен бути запасним.

Ключі слід видавати під розписку:

- працівникам, які мають право одноосібного огляду (в тому числі оперативного персоналу), - від усіх приміщень;

- у разі допуску за нарядом-допуском - допускає з числа оперативного персоналу, відповідального керівника і виконавця робіт, що спостерігає (працівнику, відповідальному за безпеку робіт) - від приміщень, в яких належить працювати.

Ключі підлягають поверненню щоденно після закінчення огляду або роботи.

При роботі в електроустановках, що не мають місцевого оперативного персоналу, ключі повинні повертатися не пізніше наступного робочого дня після огляду або повного закінчення роботи.

Видача і повернення ключів повинні враховуватися в спеціальному журналі довільної форми або в оперативному журналі.

6.4 Загальні вимоги до процесів експлуатації та технічного обслуговування

Роботи по експлуатації та технічного обслуговування ВЕУ повинні здійснюватися у суворій відповідності до місцевої інструкції з експлуатації, розробленої на основі інструкцій з експлуатації, наданих постачальниками обладнання, посадовими інструкціями.

Захист персоналу від ураження електричним струмом здійснюється:

- ізоляцією струмоведучих частин;
- безпечним наднизькою напругою в електричних ланцюгах;
- захисним заземленням металевих неструмоведучих частин виробу;
- використанням пристроїв, що відключають виріб від мережі, коли доступні дотику частини виробу виявляються під напругою;
- використанням оболонок;

- застосуванням блокування;
- установкою екранів;
- застосуванням елементів, що контролюють стан ізоляції і сигналізують про її пошкодження;
- спеціальним одягом і взуттям;
- використанням попереджувальних написів, а також використанням засобів захисту відповідно до інструкцій.

Підйом на ВЕУ дозволяється тільки після її надійного відключення відповідно до інструкції по експлуатації, наданої виробником ВЕУ.

При підйомі по внутрішнім або зовнішнім сходах ВЕУ необхідно користуватися страхувальним ременем з коротким тросом і страхувальним пристроєм.

Без необхідності забороняється наближення до ВЕУ на відстань меншу, ніж це дозволено в інструкції з експлуатації, наданому виробником ВЕУ.

При проведенні огляду турбіни з землі забороняється перебувати в площині обертання лопатей вітроколеса і з підвітряного боку ВЕУ. Для горизонтально-осьових ВЕУ спостерігати за вітроколесом дозволяється з навітряного боку.

До виконання верхолазних робіт і робіт на висоті повинні проводити тільки кваліфіковані і атестований для виконання даних робіт персонал.

При виконанні робіт з обслуговування ВЕУ оперативно-ремонтний персонал повинен бути забезпечений індивідуальними мобільними засобами зв'язку.

Ремонтному і оперативно-ремонтному персоналу горизонтально-осьових ВЕУ середньої і великої потужності забороняється проводити огляд обтічника, лопатей, втулки, і встановленого в ній устаткування до тих пір, поки втулка та інші деталі, що обертаються надійно не зафіксовано від обертання відповідно до методики, розробленої виробником.

При розробці порядку дій в аварійних ситуаціях необхідно взяти до уваги, що загроза руйнування елементів конструкції зростає при перерахованих нижче умовах:

- перевищення швидкості вітру;
- обмерзання;
- гроза;
- землетрус;
- розрив або ослаблення розтяжок;
- відмова гальма;
- дисбаланс вітроколеса і інших обертових елементів конструкції;
- ослаблення різьбових і кріпильних з'єднань;
- неполадки в системі змащування;
- піщана буря (торнадо);
- пожежа або повінь;
- інші аналогічні випадки.

Висновки до розділу 6

Запропоновані основні заходи з охорони праці при експлуатації та монтажі ВЕУ

Висновки

1. Проведено огляд теперішнього стану та темпів розвитку вітроенергетики в Україні. Згідно останніх даних станом на 2019р. загальна встановлена потужність склала 1170 МВт, а прогнозований приріст на кінець 2020 р. очікується у розмірі 450 МВт. Однак основні сфери застосування ВЕУ є лише для забезпечення споживачів електроенергією, проте мало уваги приділяється використанню ВЕУ для підвищення якості електроенергії.
2. Проведено аналіз та розрахунок мережі 0,4 кВ та встановлена точка приєднання джерела енергії. Для обраного фрагменту для покращення якості напруги мережі було запропоновано встановити ВЕУ у вузол 12. Величина силової установки склала 7,5 кВт.
3. Проведений аеродинамічний розрахунок та визначено основні характеристики ВЕУ. Отримана вітроустановка має діаметр 7,4м. Коефіцієнт потужності склав, 0,317, що досягається при значенні числа модулів $z=6$.
4. Встановлено, що необхідний резервний блок потужністю 36 кВт, склав 45 АКБ ємністю 250 А·год кожна.
5. Проведена економічна оцінка прийнятих рішень, що показала при затратах близько 815 тис. грн, термін окупності технічних рішень склав 2 роки при забезпеченні зниження збитку світловому обладнанню споживачів.
6. Розроблено основні заходи безпеки охорони праці при роботі на вітростанції під час монтажу та обслуговування вітроагрегатів.

Список використаних джерел

1. Rudenko L.H., Lisovskyi S.A., Maruniak Eu.O. (2015). The problem of nature management and sustainable development in the works of the Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine. Ukrainian geographical journal, 2, 3 – 9. DOI: 10.15407/ugz2015.02.003.
2. Ukrainian wind power sector 2018. (2019). UWEA [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.uwea.com.ua/>
3. Information on power and volumes of electricity produced by renewable energy companies who have a «green» tariff (as at 01.01.2019). (2019). State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: http://saee.gov.ua/sites/default/files/4_2018.pdf [In Ukrainian].
4. Interactive map of energy efficiency and renewable energy projects of Ukraine. (2017). UAMAP. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.uamap.org.ua/map>
3. Звіт розвитку малої вітроенергетики в світі[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://wwindea.org/blog/2016/03/17/small-wind-world-market-back-on-track-again/>. – Заголовок з екрану.
4. Фатеев Е.М. Ветродвигатели и ветроустановки. М.: Госиздат с.х. лит.1957.– 538с.
5. Energy Strategy of Ukraine. Energy strategy of Ukraine for the period till 2030 (approved by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 24.07.2013. № 1071. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13> [In Ukrainian].
6. ДСТУ 3896:2007 Вітроенергетичні установки та вітроелектричні станції. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 2008. – 24с.
7. Шідловскій А.К. Економічна оцінка наслідків зниження якості електричної енергії в сучасних системах електропостачання / А.К. Шидловський, В.Г.Кузнецов, В. Г. Ніколаєнко. Препринт - 253 ІЕД АН УРСР. - К., 1981. - 49 с.
8. Гриб О.Г. Контроль потребления электроэнергии с учетом ее качества / О. Г. Гриб [и др.]. – Харків: ХНУРЕ, 2010. – 443 с.
9. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушения электроснабжения / В.А. Непомнящий. – М.: Изд. дом МЭИ, 2010. – 187 с.
10. Кожушко Г.М. Енергоекономічні джерела світла: шляхи підвищення світлової ефективності та екологічності: Дис.... д-ра техн. наук. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 391 с.

11. Бунько В.Я. Питання якості електричної енергії в розподільних пристроях систем електропостачання / В. Я. Бунько // Молодий вчений. – 2016. – №1. – С. 99-103.
12. Ахметшин А.Р. Выбор оптимального технического решения для обеспечения нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ / Э.Ю. Абдуллазянов, А.Р. Ахметшин, // Вестник ИрГТУ. – №6, 2011. – С. 113-118
13. ПІ 1.1.10-236-2004. Примірна інструкція з охорони праці під час виконання робіт на вітряних електричних станціях, 2004 – 8с.

Додаток А

Середня та максимальна швидкість вітру по місяцям.

